

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA



**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN
MANUFACTURING PARA RESOLUÇÃO DE
PROBLEMAS NA INDÚSTRIA PNEUMÁTICA**

CAROLINA GONÇALVES JORGE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ORIENTAÇÃO

CARLOS ANDRÉ VAZ JÚNIOR

ESTEVÃO FEIRE

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2021

CAROLINA GONÇALVES JORGE

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao corpo docente da Escola de
Química da Universidade Federal do Rio de
Janeiro como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Química para Carolina Gonçalves Jorge.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

Junho de 2021

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN MANUFACTURING PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA INDÚSTRIA PNEUMÁTICA

Carolina Gonçalves Jorge

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Érika Christina Ashton Nunes Chrisman, D.Sc.

Antônio Ribeiro, D.Sc.

Orientado por:

CARLOS ANDRÉ VAZ JÚNIOR

ESTEVÃO FREIRE

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

Junho de 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Jorge, Carolina Gonçalves.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN MANUFACTURING PARA
RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA INDÚSTRIA PNEUMÁTICA / Carolina Gonçalves
Jorge. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021.

xii, 92 p.;

(Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola
de Química, Rio de Janeiro, 2021.

Orientadores: Carlos André Vaz Jr. e Estevão Freire

1. Lean Manufacturing. 2. DMAIC. 3. Redução de desperdícios. 4. Aumento de
capacidade. 6. Indústria Pneumática

À minha família por todo incentivo.

Dedico.

(Carolina Gonçalves Jorge)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente aos meus pais por todo suporte dado a mim para tornar realidade o sonho de me formar em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Sem vocês nada disso seria possível. Esse agradecimento se estende ao meu irmão e aos familiares próximos que acompanharam minha trajetória e torceram pelo meu sucesso.

Aos amigos de curso, muito obrigada por todos os momentos felizes que passamos, pelas conversas, risadas, pela amizade e companheirismo, e por terem tornado essa jornada tão difícil mais leve e agradável.

Agradeço a todos os professores que contribuíram para minha formação e desenvolvimento, em especial ao Rodrigo Pires do Nascimento e aos meus orientadores Carlos André Vaz Júnior e Estevão Freire.

Ao grupo do BIOSE, especialmente à Veronica Lopes, quero agradecer por todos os ensinamentos, não só acadêmicos, mas também de vida. Vocês foram muito importantes para minha formação como ser humano.

E por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer de forma individual aos amigos Gabriely Brunhara, Paulo H. Fávero, Natália Insuelas, Yasmin Carvalho, Pedro M. Kreil e Lucas Gomes pelo apoio, carinho e amizade. Cada um de vocês contribuiu de forma muito positiva para a pessoa que sou hoje. Muito obrigada!

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Química

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN MANUFACTURING PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA INDÚSTRIA PNEUMÁTICA

Carolina Gonçalves Jorge

Junho, 2021

Orientadores: Prof. Carlos André Vaz Júnior, D. Sc.

Prof. Estevão Freire, D.Sc.

A filosofia *Lean Manufacturing* vem sendo aplicada por diversas organizações com o objetivo principal de melhorar a eficiência das operações, eliminando e reduzindo desperdícios. Esse trabalho consiste em um estudo de caso que tem como objetivo avaliar a aplicação de técnicas do *Lean Manufacturing* aliado a estrutura de resolução de problemas DMAIC em uma fábrica de pneus para maquinário agrícola. Um mapeamento da cadeia de valor é realizado a fim de identificar os desperdícios do processo e, posteriormente, tratá-los na causa raiz utilizando ferramentas de análise como Gráficos de Pareto, Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Gantt e Cinco Porquês. O objetivo da indústria pneumática analisada é redução de tempo de ciclo e aumento de performance de um grupo de máquinas do setor de Confecção. O Sistema *Lean Manufacturing* foi selecionado para atender as metas de qualidade, custo e entrega da empresa. Ao final do estudo ficou constatado que o tempo de ciclo da máquina gargalo do grupo foi reduzido em vinte e seis por cento e a performance de ambas as máquinas aumentou em média treze por cento, atingindo o objetivo do projeto e permitindo um aumento de quarenta por cento na capacidade do grupo analisado.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DIAGRAMA CASA DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	20
FIGURA 2: COMPARAÇÃO ENTRE O FLUXO TRADICIONAL E O CONTÍNUO.....	25
FIGURA 3: ESQUEMA DE FIFO EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO.....	27
FIGURA 4: ESQUEMA DE KANBAN EM UM SUPERMERCADO.....	30
FIGURA 5: EXEMPLO DE ICONES UTILIZADOS NO VSM.....	33
FIGURA 6: MAPA DO FLUXO DE VALOR DA SITUAÇÃO ATUAL.....	36
FIGURA 7: MAPA DO FLUXO DE VALOR DA SITUAÇÃO FUTURA.....	38
FIGURA 8: RELAÇÃO ENTRE PDCA E DMAIC.....	42
FIGURA 9: EXEMPLO DE SIPOC DE UM CALL CENTER.....	47
FIGURA 10: DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	49
FIGURA 11: DIAGRAMA DE GANTT GENÉRICO.....	50
FIGURA 12: DIAGRAMA DE PARETO.....	51
FIGURA 13: MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO.....	52
FIGURA 14: DOCUMENTOS POR ANO.....	54
FIGURA 15: TRATOR AGRÍCOLA.....	55
FIGURA 16: FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PNEU.....	56
FIGURA 17: VOZ DO CLIENTE.....	58
FIGURA 18: SIPOC DO ESTUDO.....	60
FIGURA 19: TOMADAS DE TEMPO CRC 1.....	62
FIGURA 20: TOMADAS DE TEMPO BDG 1.....	62
FIGURA 21: HISTÓRICO OEE CRC 1.....	63
FIGURA 22: HISTÓRICO OEE BDG 1.....	63
FIGURA 23: MAPEAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL.....	64
FIGURA 24: GRÁFICO VA/NVA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CARÇAÇA.....	65
FIGURA 25: GRÁFICO VA/NVA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BANDAGEM.....	66
FIGURA 26: DIAGRAMA DE PARETO DOS DESPERDÍCIOS ENCONTRADOS NA CRC 1.....	67
FIGURA 27: DIAGRAMA DE PARETO DOS DESPERDÍCIOS ENCONTRADOS NA BDG 1.....	67
FIGURA 28: EXPLOSÃO DOS DESPERDÍCIOS ESPERA DA CRC 1.....	67
FIGURA 29: EXPLOSÃO DOS DESPERDÍCIOS SUPER PROCESSAMENTO DA CRC 1.....	68
FIGURA 30: EXPLOSÃO DO DESPERDÍCIO ESPERA DA BDG 1 EM UM NOVO DIAGRAMA DE PARETO.....	69
FIGURA 31: EXPLOSÃO DO DESPERDÍCIO TRANSPORTE DA BDG 1 EM UM NOVO DIAGRAMA DE PARETO.....	70
FIGURA 32: PARETO DE PERDAS POR PANES CRC 1.....	71
FIGURA 33: 5 PORQUES DO X2.....	72
FIGURA 34: 5 PORQUES DO X5.....	72
FIGURA 35: DIAGRAMA DE GANTT INICIAL DO X3.....	73
FIGURA 36: DIAGRAMA DE GANTT INICIAL DO X6.....	74
FIGURA 37: DIAGRAMA DE GANTT INICIAL DO X7.....	75
FIGURA 38: DIAGRAMA DE ISHIKAWA X4.....	76
FIGURA 39: PREVISÃO DE GANHOS DE T/C DA CRC 1.....	77
FIGURA 40: PREVISÃO DE GANHOS DE T/C DA BDG 1.....	77
FIGURA 41: PREVISÃO DE GANHOS DE OEE DA CRC 1.....	77
FIGURA 42: PREVISÃO DE GANHOS DE OEE DA BDG 1.....	78
FIGURA 43: GRÁFICOS DE PANES PÓS MELHORIAS.....	79
FIGURA 44: GANTT OTIMIZADO - X3.....	80
FIGURA 45: GANTT OTIMIZADO - X6.....	82
FIGURA 46: GANTT OTIMIZADO - X7.....	82
FIGURA 47: GANHOS DE T/C REALIZADOS NA CRC 1.....	83

FIGURA 48: GANHOS DE OEE REALIZADOS NA CRC 1.....	83
FIGURA 49: GANHOS DE T/C REALIZADOS NA BDG 1.....	83
FIGURA 50: GANHOS DE OEE REALIZADOS NA BDG 1.....	84
FIGURA 51: PILOTAGEM DO OEE DA CRC 1 DURANTE E APÓS A CONCLUSÃO DO ESTUDO.....	85
FIGURA 52: PILOTAGEM DO OEE DA BDG 1 DURANTE E APÓS A CONCLUSÃO DO ESTUDO.....	85
FIGURA 53: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO REAL DE BANDAGENS MENSAL.....	86

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: QUADRO TAKT	31
TABELA 2: MATRIZ DE IDENTIFICAÇÃO DA FAMÍLIA DE PRODUTOS	34
TABELA 3: BENCHMARK	59
TABELA 4: OBJETIVOS DO ESTUDO	61
TABELA 5: CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS COLETADOS	64
TABELA 6: TABELA DE PRIORIZAÇÃO DO DESPERDÍCIO TRANSPORTE DA BDG 1	69
TABELA 7: COMPARAÇÃO ENTRE GANHO PREVISTO E OBJETIVO	78
TABELA 8: COMPARAÇÃO ENTRE REALIZADO E OBJETIVO DO ESTUDO	84
TABELA 9: QUADRO HORA X HORA CRC 1	87

ÍNDICE

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	13
I.1. Contextualização.....	13
I.2. Objetivo Geral.....	14
I.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
II.1. Introdução aos Sistemas de Qualidade.....	15
II.2. O Sistema Toyota de Produção.....	16
II.2.1. BASES DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	16
II.2.1.1. <i>Heijunka</i> - Nivelamento da Produção.....	16
II.2.1.2. Trabalho Padronizado (<i>Standard</i>).....	17
II.2.1.3. <i>Kaizen</i>	17
II.2.2. PILARES DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	18
II.2.2.1. <i>Just-In-Time</i>	18
II.2.2.2. <i>Jidoka</i> (<i>Autonomation</i>).....	18
II.2.3. DIAGRAMA CASA DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO.....	19
II.2.4. ELIMINAÇÃO DE DESPERDÍCIOS.....	21
II.2.4.1. Conceitos de Valor Agregado e Não-Valor Agregado.....	21
II.2.4.2. Os 7 Desperdícios.....	21
II.3. O <i>Lean Manufacturing</i>.....	23
II.3.1. CINCO PRINCÍPIOS DO <i>LEAN MANUFACTURING</i>	23
II.3.1.1. Princípio 1: Especificar Valor.....	23
II.3.1.2. Princípio 2: Identificar Fluxos de Valor.....	24
II.3.1.3. Princípio 3: Controlar o Fluxo.....	24
II.3.1.4. Princípio 4: Produção Puxada.....	26
II.3.1.5. Princípio 5: Buscar a Perfeição.....	28
II.3.2. MÉTRICAS DO <i>LEAN MANUFACTURING</i>	28
II.3.3. FERRAMENTAS <i>LEAN</i>	29
II.3.3.1. <i>Kanban</i>	30
II.3.3.2. Gestão Visual.....	31
II.3.3.3. 5 Porquês.....	31
II.3.3.4. Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM).....	32
II.3.4. FILOSOFIA <i>LEAN</i>	39
II.4. Seis Sigma e Metodologia DMAIC.....	40
II.4.1. ETAPAS DMAIC.....	43
II.4.1.1. Definir.....	43
II.4.1.2. Medir.....	44
II.4.1.3. Analisar.....	44
II.4.1.4. Melhorar.....	44
II.4.1.5. Controlar.....	45

II.4.2. FERRAMENTAS DMAIC.....	45
II.4.2.1. Voz do Cliente (VOC).....	45
II.4.2.2. SIPOC.....	46
II.4.2.3. <i>Benchmark</i>	47
II.4.2.4. Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa).....	47
II.4.2.5. <i>Brainstorming</i>	49
II.4.2.6. Diagrama de Gantt.....	50
II.4.2.7. Diagrama de Pareto.....	50
II.4.2.8. Matriz de Priorização.....	51
II.5. Integração entre o <i>Lean</i> e o DMAIC.....	52
II.6. Conceitos Básicos.....	52
CAPÍTULO III - ESTUDO DE CASO.....	53
III.1. Estudo de Caso.....	53
III.1.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	53
III.2. Contexto Da Empresa.....	54
III.3. Processo de Fabricação de Pneus.....	55
III.4. Aplicação da Metodologia <i>Lean</i> - DMAIC.....	57
III.4.1. DESENVOLVIMENTO DA FASE DEFINIR.....	57
III.4.2. DESENVOLVIMENTO DA FASE MEDIR.....	61
III.4.2.1. Coleta de Dados.....	61
III.4.2.2. Construção do Mapa da Situação Atual.....	64
III.4.2.3. Dinâmica VA / NVA.....	65
III.4.2.4. Identificação de Desperdícios e Priorização de Problemas.....	66
III.4.3. DESENVOLVIMENTO DA FASE ANALISAR.....	70
III.4.3.1. Aplicação do Diagrama de Pareto - X1.....	71
III.4.3.2. Aplicação dos Cinco Porquês – X2 e X5.....	71
III.4.3.3. Aplicação do Diagrama de Gantt – X3, X6 e X7.....	73
III.4.3.4. Aplicação do Diagrama de Causa e Efeito – X4.....	75
III.4.3.5. Ganhos Previsto da Fase Analisar.....	76
III.4.4. DESENVOLVIMENTO DA FASE MELHORAR.....	78
III.4.4.1. Solução para o Problema X1.....	79
III.4.4.2. Solução para o Problema X2.....	79
III.4.4.3. Solução para o Problema X3.....	80
III.4.4.4. Solução para o Problema X4.....	81
III.4.4.5. Solução para o Problema X5.....	81
III.4.4.6. Solução para o Problema X6.....	81
III.4.4.7. Solução para o Problema X7.....	82
III.4.4.8. Resumo dos Ganhos da Fase Melhorar.....	82
III.4.5. DESENVOLVIMENTO DA FASE DE CONTROLE.....	84
III.4.5.1. Reuniões de Performance.....	85
III.4.5.2. Quadro Hora x Hora.....	86
III.4.5.3. Atualização do Modo Operatório Padrão.....	87

CAPÍTULO IV – CONCLUSÕES.....	88
IV.1. Próximos Passos.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

I.1. Contextualização

O Brasil, chamado hoje de “celeiro do mundo” por possuir as maiores e melhores porções agriculturáveis do planeta, vem evoluindo sua participação no mercado agrícola há pelo menos 40 anos, segundo Agro Brasil (2020). Os desafios de um país de clima tropical como o ataque fungos, vírus bactérias e ervas daninhas às plantações devido as perfeitas condições ambientais, levaram o país a investir em pesquisa e tecnologia. A produção em duas safras, recuperação de pastagens e fixação biológica de nitrogênio são exemplos de iniciativas sustentáveis que contribuíram para o crescimento.

O setor agrícola brasileiro aproveita as oportunidades como aumento da população mundial, aumento da demanda por energia e outros bens de origem na terra para impulsionar sua economia. Essa condição de celeiro mundial permitiu preço mais acessíveis aos consumidores, aumento da renda e geração de empregos. A participação do agronegócio no Produto Interno Bruto em 2020 foi de 21,1% e tem previsão um aumento de 3% para o ano de 2021, que equivale a R\$1,8 trilhão, de acordo com Borracha Atual (2021). O Portal do Agronegócio (2020) comenta que o cenário otimista se deve principalmente à ótima safra, ao recorde de exportações e à valorização de 30% do dólar, que favoreceu o aumento da rentabilidade para os agricultores que produzem soja, milho, café, entre outros produtos, para exportação.

O mercado de máquinas, especialmente o agrícola, acompanha o ritmo do setor de agricultura, segundo a Revista Cultivar (2020). Em 2020, houve um crescimento de 7,3% nas vendas de máquinas agrícolas e rodoviárias em relação ao ano de 2019, de acordo com Agro Industria (2021). O número de vendas de empresas associadas à Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ) cresceu 55% já no primeiro bimestre de 2021, comparado ao mesmo período de 2020. Portanto, o desafio nesse momento passou a ser produzir e entregar no prazo acordado. Isso envolve toda a cadeia, desde as usinas siderúrgicas até o produtor final, incluindo o setor de pneumáticos.

As vendas totais da indústria brasileira de pneus fecharam 2020 com uma queda de 12,9% em relação ao ano anterior. Porém, o segmento de pneus agrícolas segue a tendência positiva do mercado de máquinas agrícolas. Essa interligação entre os setores de pneus e o agronegócio dá origem ao primeiro desafio desse segmento pneumático, a sazonalidade da

demanda. O aumento da demanda depende das condições climáticas, que estão relacionadas aos períodos de chuva e seca acontecerem como o previsto. Portanto, a demanda para esse segmento se torna muito flutuante e os fabricantes devem estar preparados para absorver quedas e aumentos imprevisíveis nas vendas.

Outro desafio desse setor é oferecer um pneu de alta tecnologia para o cliente que está cada vez mais exigente com a qualidade do pneu e preocupado com a sustentabilidade e eficiência do seu negócio. De acordo com a AgrosHOW Digital (2019), um bom pneu para o campo deve ser capaz de suportar altas cargas e se adaptar a diferentes tipos de terreno sem agredir o solo, além de consumir menos combustível.

Para contornar esses e outros desafios impostos pelo mercado globalizado cada vez mais competitivo como aumento da expectativa dos clientes, produtos de alta qualidade, demanda flutuante, tributação, entre outros, as empresas procuraram por alternativas para se manterem competitivas. Os Sistemas de Qualidade estabelecem boas práticas e métodos para controle de qualidade, com o objetivo de atingir a satisfação do cliente e os objetivos da organização. Um desses sistemas é o *Lean Manufacturing*, que foi desenvolvido visando a minimização dos desperdícios e a maximização de recursos a fim de agregar valor para o cliente (WOMACK e JONES, 1996; GOETSCH e DAVIS, 2014)

Portanto, o presente trabalho trata da utilização/implantação de ferramentas de qualidade em uma indústria fabricante de pneus agrícolas, onde foi aplicada a metodologia *Lean Manufacturing*.

I.2. Objetivo Geral

Validar a aplicação prática da metodologia *Lean Manufacturing* aliada a estrutura DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar) em um problema real da indústria pneumática.

I.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as etapas do processo buscando eliminar desperdícios por meio da utilização do Mapeamento de Fluxo de Valor.
- Analisar a melhoria da capacidade fabril por meio da aplicação da metodologia *Lean-DMAIC*.

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1. Introdução aos Sistemas de Qualidade

A preocupação com a qualidade de bens e serviços surgiu na década de 20 liderada por Frederick Taylor, considerado o “pai do gerenciamento científico”. A ideia central desse tipo de gerenciamento é a separação entre planejamento e execução. Ele se opôs a antiga ideia de que uma única pessoa, *expert* em qualidade, deveria ser responsável por todas as tarefas necessária para se produzir um produto de qualidade, e criou o departamento de qualidade (GOETSCH e DAVIS, 2014).

Conforme o volume e complexidade das fábricas cresceram, surgiu ainda na década de 1920 a engenharia da qualidade, que utiliza métodos estatísticos para controle da qualidade, introduzindo os conceitos de Cartas de Controle e Controle Estatístico de Processos (CEP) criados por Walter A. Shewhart. A Carta de controle é um gráfico que determina estatisticamente os limites aceitáveis de operação e mostra se o processo está sob controle ou não, e o CEP é um método de coleta e verificação de amostras de resultados de um processo com o objetivo de controlá-lo e reduzir falhas de execução (GOETSCH e DAVIS, 2014).

Alguns anos depois William E. Deming vê relevância nas ideias de Shewhart e cria o Ciclo de Deming (PDCA, *Plan – Do – Check – Act*) baseado no Ciclo de Shewhart (PDS, *Plan – Do – See*), desenvolvido para associar a produção com as necessidades do consumidor e focar nos recursos de todos os departamentos para atender a expectativa do cliente. Deming também introduziu os Quatorze Princípios para Qualidade, que resumem o que uma empresa deve fazer para efetuar uma transição positiva de seus negócios para a qualidade de classe mundial, e as Sete Doenças Organizacionais, que são os fatores que inibem essa transição (GOETSCH e DAVIS, 2014).

O contemporâneo de Deming, Joseph M. Juran, contribuiu para a evolução da filosofia do controle de qualidade com O Princípio de Pareto, também chamado de Regra 80/20¹, e A Trilogia Juran, conhecida como *Juran Management System* (JSM), que resume as três principais funções gerenciais: planejamento, controle e aperfeiçoamento. Mais tarde, surgiu a ideia de “defeito-zero”, introduzida por Philip B. Crosby, que se opunha aos níveis estatísticos aceitáveis de defeito (GOETSCH e DAVIS, 2014).

Já na década de 1950, surgiu a engenharia de confiabilidade que mudou a abordagem do controle de qualidade tradicional, que analisava após o fato, e inseriu o controle ao longo

1 A Regra 80/20 diz que 80% dos problemas de uma organização são causados por 20% dos problemas.

do processo. Nessa época estava em desenvolvimento o Sistema Toyota de Produção que será detalhadamente comentado a seguir.

II.2. O Sistema Toyota de Produção

O Sistema Toyota de Produção surgiu no Japão no período pós Segunda Guerra mundial. O país estava arrasado social, política e financeiramente, e a indústria automobilística japonesa precisava de uma alternativa para se manter no mercado dominado pelos americanos e seu modelo de produção em massa desenvolvido por Henry Ford (WOMACK *et al*, 1990)

Em 1950, o jovem e brilhante engenheiro japonês Eiji Toyoda visitou a fábrica de Rouge da Ford, em Detroit, que era considerada a maior e mais eficiente fábrica de manufatura do mundo naquela época. Seu objetivo era observar e aprender como funcionava na prática o modelo de produção de Ford. De volta ao Japão, Eiji e o engenheiro Taiichi Ohno concluíram que o modelo de produção em massa jamais funcionaria na indústria japonesa. Os motivos eram o alto custo para manter grandes volumes de produção e a pouca diversificação de produtos, que não atenderia a demanda por diferentes tipos de veículos para reconstrução do país naquela época. Além disso, o modelo de Ford demandava grandes investimentos para modernização dos sistemas de computadores, que se tornavam cada vez mais complexos, e para robotização dos parques industriais. Ohno desenvolve então, entre 1946 e 1973, um modelo simples de gerenciamento da produção baseado na redução dos desperdícios e na flexibilização do processo, que necessita de menos mão-de-obra, menos espaço físico e menos investimento, chamado de Sistema Toyota de Produção (TPS). O objetivo desse modelo era produzir os veículos da forma mais rápida e eficiente para entregá-los o mais rapidamente possível para o cliente (WOMACK *et al*, 1990)

No livro “Sistema Toyota de Produção, além da produção em larga escala” (OHNO, 1988), Ohno conta a história do desenvolvimento do TPS e explica as bases e pilares que foram utilizados para construir esse sistema.

II.2.1. BASES DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

II.2.1.1. *Heijunka* - Nivelamento da Produção

Heijunka é o nivelamento do volume e variedade de itens produzidos em um processo ao longo de um período de tempo. Esse conceito está relacionado à programação da produção para manter a estabilidade de produção.

O modelo *just-in-time*² adotado pela Toyota não elimina a necessidade de um planejamento de produção, pelo contrário, reforça a importância de realizar um planejamento eficiente e bem sincronizado com o sistema de informações para que não ocorra um desnivelamento da produção. O objetivo do planejamento é a disponibilidade dos recursos necessários para atender à necessidade de produção e a demanda do cliente com menor custo. A capacidade de produção deve ser ajustada à demanda tanto a curto quanto a longo prazo. Esse planejamento pode ser anual, mensal e diário (OHNO, 1988)

O planejamento anual faz uma previsão da quantidade total que será necessário produzir no ano, de acordo com a estratégia industrial, investimentos e contratos de longo prazo. O planejamento mensal está relacionado com a quantidade de cada produto que será produzido em cada mês. Na última quinzena do mês anterior cada linha de produção é informada da quantidade diária de produção de cada tipo de produto (OHNO, 1988).

II.2.1.2. Trabalho Padronizado (*Standard*)

É definido como a melhor maneira de fazer, conhecida e compartilhada por todos, em determinado período. O objetivo de definir uma forma de trabalho padrão é a redução da variabilidade no método de trabalho, seja reduzindo erros humanos ou garantindo a melhor organização do ambiente laboral (LIKER e MEIER, 2007).

A utilização de *standards* está relacionada aos treinamentos básicos, à eficiência e controle de tarefas para garantir qualidade, custo, entrega e segurança à operação e ao gerenciamento (OHNO, 1988).

II.2.1.3. *Kaizen*

É definido como uma filosofia que promove a melhoria contínua como um processo de otimizações em pequenos incrementos, que envolve a todos e que torna a organização mais eficiente, efetiva, sob controle e adaptável. As melhorias são geralmente realizadas com pouco ou nenhum investimento, sem utilização de técnicas sofisticadas ou equipamentos de alto custo. A cultura *Kaizen* encoraja que as sugestões venham dos operadores para que continuamente otimizem suas atividades (BESTERFIELD *et al*, 2012).

² Just-in-time se baseia em fazer o que for necessário, quando for necessário e na quantidade necessária

É uma ferramenta muito útil quando as fontes de desperdícios são óbvias, o problema tem um escopo bem definido e compreendido, os resultados devem ser imediatos e quando é necessário imprimir velocidade a um projeto e adquirir credibilidade nas fases iniciais. O *Kaizen* pode ser implementado em forma de workshop de três a cinco dias realizado por uma equipe multidisciplinar que ficará totalmente dedicada a implementação dessa filosofia nos dias definidos, segundo a estrutura DMAIC, similar ao Ciclo de Deming, que será comentada mais adiante neste trabalho (WERKEMA, 2012a).

II.2.2. PILARES DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

II.2.2.1. *Just-In-Time*

Desenvolvido na década de 1930 pelo filho do fundador da Companhia Toyota, Kiichiro Toyoda, o conceito de *just-in-time* (JIT) se baseia em fazer o que for necessário, quando for necessário e na quantidade necessária, de acordo com a Toyota Motor Company (2021). Em um processo fabril as peças necessárias à montagem do produto devem chegar à linha de produção no momento em que serão utilizadas e apenas na quantidade necessária, se aproximando de zero estoque.

No mundo real esse conceito é extremamente difícil de ser aplicado pois existe uma quantidade enorme de peças e processos envolvidos, além dos eventuais problemas, como produtos defeituosos, pães, absenteísmos, mudanças não previstas no planejamento de produção, entre outros. Esses problemas interromperiam a produção se não houvesse um estoque mínimo para absorver essas possíveis variabilidades, portanto é preciso analisar caso a caso.

OHNO (1988) comenta que a produção baseada somente na previsão de produção, sem levar em consideração a necessidade dos processos posteriores, resulta em desperdícios como peças defeituosas, enormes estoques de peças não necessárias e baixa reatividade. Isso impacta negativamente a produtividade e reduz a lucratividade da empresa. Por isso, o planejamento de produção deve ser utilizado em conjunto com o modelo *just-in-time*.

II.2.2.2. *Jidoka (Automation)*

O conceito de *jidoka* ou *automation* foi criado por Sakichi Toyoda, fundador da Toyota, no século XX, com a invenção de um tear com parada automática instantânea quando

ocorria o rompimento dos fios. *Jidoka*, que pode ser traduzido como “automação com um toque humano” (OHNO, 1988, p.6).

Inicialmente, os processos automatizados comuns eram incapazes de identificar uma anormalidade e imediatamente interromper a produção. Devido a isso, centenas de peças defeituosas eram produzidas onerando custo ao processo. Esse mecanismo foi criado com a finalidade de evitar esses defeitos repetitivos, que podem muitas vezes colocar o operador em risco na linha de produção.

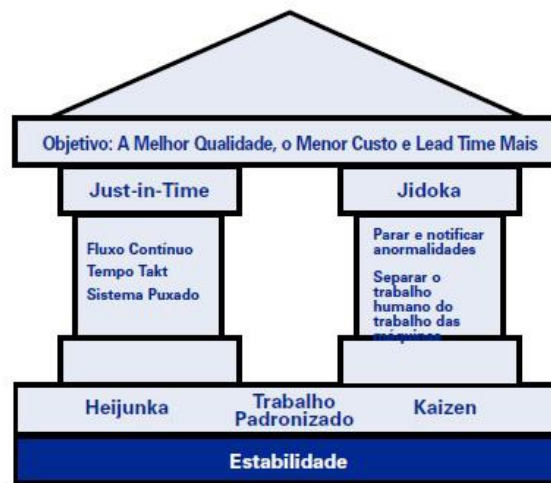
Uma mudança importante trazida pelo conceito de *autonomation* foi a análise de todos os problemas que ocorrem durante o processo. Se máquinas ou ferramentas forem reparadas sem uma análise de causa e sem que o supervisor seja alertado, nunca haverá uma melhoria no processo e nem redução de custos. A parada de máquina forçada pelo *jidoka* permite que todos sejam alertados dos problemas e trabalhem na resolução de suas causas raízes, tornando a melhoria possível (OHNO, 1988).

Os conceitos apresentados nos tópicos acima foram resumidos em uma figura chamada Diagrama Casa do TPS, desenhada de diversas formas por diferentes autores.

II.2.3. DIAGRAMA CASA DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

A Casa do TPS (Figura 1) representa a estrutura da filosofia do Sistema Toyota de Produção. A base do sistema é a estabilidade e a padronização, dados pelas ferramentas *Heijunka*, Trabalho Padronizado e *Kaizen*. O *Heijunka* garante que não haja picos de produção que desestabilizem a linha e dificultem a produção de forma suave. O Trabalho Padronizado, garante que o melhor método de trabalho é conhecido, compreendido e aplicado por todos e é utilizado para prevenir erros humanos e de processo. O *Kaizen*, é a filosofia de melhoria contínua que está diretamente ligada ao trabalho padronizado. A cada vez que uma melhoria é realizada, seu método deve ser padronizado para que seja sustentável ao longo do tempo. Esses três conceitos devem ser aplicados e dominados pela organização para que as ferramentas e metodologias posteriores, como JIT e *Jidoka*, funcionem de forma estável (OHNO, 1988; SHIGO, 1989; LIKER, 2004; ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2007).

FIGURA 1: DIAGRAMA CASA DO SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO



Fonte: Lean Institute Brasil (2021)

Cada elemento da casa por si só é crítico, mas juntos constituem uma estrutura estável que tem como objetivo o atingimento do melhor custo, melhor qualidade e menor *lead time*³ (telhado da casa). O JIT cria a cultura de remover o máximo possível do estoque “pulmão”, que é utilizado para absorver as derivas do processo. Internamente ao JIT está o conceito de fluxo em peça única, que significa produzir uma unidade de cada vez na taxa de demanda do cliente, regida pelo *Takt time*⁴. O uso de estoques menores torna imediatamente visíveis os problemas como defeitos de qualidade, o que reforça a implementação do *jidoka*. A parada da produção força os trabalhadores a analisar e resolver os problemas de forma imediata para retornar à produção, isso cria um senso de urgência entre os trabalhadores. Se o mesmo problema ocorrer repetidamente pode ser o momento para investir em *Total Productive Maintenance* (TPM)⁵, onde todos aprendem a limpar, inspecionar e manter o equipamento. O TPS exige alto grau de estabilidade para que o sistema não pare constantemente. O centro da casa é destinado às pessoas, porque somente através da melhoria contínua a estabilidade é alcançada. O treinamento das pessoas é realizado para desenvolver o senso crítico dos trabalhadores sobre o processo, procurando constantemente por desperdícios, e para torná-los capazes de resolver os problemas na causa raiz (LIKER, 2004).

II.2.4. ELIMINAÇÃO DE DESPERDÍCIOS

³ *Lead time* é tempo que um produto leva para percorrer todo o processo, desde o início até o final.

⁴ *Takt Time* é parâmetro utilizado para sincronizar o ritmo de produção com o ritmo de vendas.

⁵ *Total Productive Maintenance* é uma ferramenta utilizada para garantir que todos os equipamentos de um sistema estão em bom estado e prontos para uso quando solicitado.

O TPS pratica a filosofia de eliminação de desperdícios para atingir o menor custo, melhor qualidade e menor *lead time*. Para isso, é necessário identificar quais etapas do processo têm valor e quais não têm do ponto de vista do cliente. OHNO (1988) introduziu então os conceitos de valor agregado e não valor agregado e definiu os sete desperdícios, chamados de *Muda*, que devem ser identificados no processo e eliminados.

II.2.4.1. Conceitos de Valor Agregado e Não-Valor Agregado

As atividades foram classificadas em três tipos de acordo com o valor que eles têm na visão do cliente. São eles (OHNO, 1988; WERKEMA, 2012a):

- Valor Agregado (VA): atividades que efetivamente transformam a matéria prima em produto. Pode ser entendido também como atividade que o cliente está disposto a pagar.
- Não-valor agregado (NVA): atividades que não agregam valor dizem respeito as atividades que não transformam o produto. Desperdícios e atividades repetitivas são classificados como atividades de não-valor-agregado (NVA), e devem ser eliminados imediatamente. Pode ser entendido também como atividades que o cliente não está disposto a pagar.
- Não valor agregado necessário (NNVA): processos que não têm valor para o cliente, mas que não podem ser eliminados completamente por alguma questão de qualidade. Assim como o NVA, também são atividades que o cliente não está disposto a pagar.

O conceito de NNVA pode dividir opiniões. O cliente pode sim está disposto a pagar por um processo que garante um produto de melhor qualidade, então essas etapas poderiam ser classificadas como VA. Porém, alguns clientes não procuram por produtos de linha *premium*, por exemplo, e não estão dispostos a pagar por etapas que aumentem a qualidade.

II.2.4.2. Os 7 Desperdícios

Os desperdícios foram divididos em sete categorias chamadas de “naturezas” citadas abaixo (OHNO, 1988; MELTON, 2005; WOMACK e JONES, 1996, LIKER, 2004).

- a) Superprodução: desperdício causado quando se produz mais produtos do que o cliente quer comprar. A consequência disso é: engessamento do capital, consumo de recursos de forma pobre e mascaramento de problemas no processo. Podemos citar como

causas desse tipo de desperdício a produção em lotes, a produção baseada em previsões e longos tempos de *setup*⁶.

- b) Excesso de estoque: ocorre quando uma empresa mantém mais peças em estoque do que o necessário. As consequências são: capital engessado, ocupação de espaço e risco de obsolescência e danos ao produto. As causas típicas são produção empurrada (produz-se o máximo que puder, sem levar em consideração a necessidade do processo posterior), longos tempos de troca de dimensão, gargalos, e produção em lotes.
- c) Transporte: diz respeito aos movimentos desnecessários de materiais e produtos. As causas mais comuns são layout ineficiente e falta de fluxo contínuo. Esse desperdício aumenta o tempo do processo e a utilização do espaço, pode requerer algum equipamento de transporte (custo) e aumenta o risco de danos durante o manuseio.
- d) Produtos defeituosos: ocorre quando um produto não é produzido dentro das especificações, e geralmente resulta em retrabalho. Esse desperdício onera custo ao processo, consome mais recursos e causa transtornos aos clientes.
- e) Movimentos desnecessários: esse desperdício é causado por movimentações desnecessárias de pessoas, como agachar, procurar, subir e se virar ao operar uma máquina. Pode ser causado por procedimentos ineficientes, falta de modo operatório padrão, fluxo material inadequado e design não ergonômico do posto de trabalho. As consequências são problemas ergonômicos, baixa eficiência de trabalho e perda de tempo de produção.
- f) Super processamento: ocorre quando existem operações dentro da linha de produção que não possuem valor agregado. As consequências são atrasos e possibilidade de ocorrer mais defeitos. As causas desse desperdício na indústria podem ser falta de identificação de valor para o cliente e falta de modo operatório bem definido.
- g) Espera: a falta de fluxo dentro do processo causa o desperdício de materiais, mão de obra e despesas em geral. A consequência é o aumento do *lead time* e dos bens em

⁶ Tempo de setup é definido como o tempo decorrido entre a fabricação da última peça do ciclo de produção que acabou de ser finalizado e a fabricação da primeira peça que atende as especificações de qualidade do novo tipo de produto a ser fabricado (WERKEMA, 2012a).

fase de desenvolvimento, impactando diretamente o tempo de entrega para o cliente final.

II.3. O *Lean Manufacturing*

Em 1990, James Womack realizou um grande estudo, liderado pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), sobre a história da indústria automotiva e sobre os sistemas de produção japones, americano e europeu, difundindo pela primeira vez o termo “*lean*”, que pode ser traduzido como “produção enxuta”, para se referir ao Sistema Toyota de Produção. Esse estudo deu origem ao livro “A máquina que mudou o mundo” (WOMACK *et al*, 1990), um clássico desse tema.

Seis anos depois, o livro “*Lean Thinking, banish waste and create wealth in your corporation*” (WOMACK e JONES, 1996) introduziu os cinco princípios do *Lean*, que consistem no passo a passo para aplicar a metodologia *Lean* em uma organização. Todos os conceitos e ferramentas foram explorados com exemplos reais de organizações de diferentes setores, inclusive hospitais, deixando claro o quão versátil pode ser o modelo.

II.3.1. CINCO PRINCÍPIOS DO *LEAN MANUFACTURING*

WOMACK e JONES (1996) afirmam que o pensamento enxuto é a solução para a eliminação de desperdícios, e pode ser entendido como “uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência de ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção todo vez que alguém solicite e realizá-las de modo cada vez mais eficaz” (WOMACK e JONES, 1996, p.15). Essa sequência de ações deu origem aos princípios *Lean*, que são: especificar valor, identificar o fluxo de valor, controlar o fluxo, produção puxada e buscar a perfeição

II.3.1.1. Princípio 1: Especificar Valor

O ponto de partida para a filosofia enxuta é a definição de valor. O fornecedor precisa compreender quais as necessidades e expectativas do cliente em relação a um produto específico para entregar um bem ou serviço que atenda suas necessidades. Diferentes clientes têm diferentes concepções de valor, o que torna essa identificação um desafio para o fornecedor. (MELTON, 2004)

O valor é sempre definido pelo cliente final. Duas perguntas nos ajudam a defini-lo: “qual é a demanda do cliente?” e “qual é a necessidade do cliente?”. A identificação de valor com precisão é a etapa crítica do sistema enxuto (WOMACK e JONES, 1996).

II.3.1.2. Princípio 2: Identificar Fluxos de Valor

O segundo princípio consiste em identificar o fluxo de valor, que significa na prática dissecar a cadeia produtiva e dividir os processos em três tipos: aqueles que agregam valor, aqueles que não agregam valor, mas que são importantes para a manutenção do processo e da qualidade, e aqueles que não agregam valor de nenhum modo e devem ser imediatamente eliminados. A ferramenta utilizada na identificação da cadeia de valor é denominada Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping* – VSM) e será comentada mais adiante. (WERKEMA, 2012a).

II.3.1.3. Princípio 3: Controlar o Fluxo

O terceiro princípio *Lean* foi desenvolvido a partir da necessidade de equilibrar a performance de produção e a demanda do cliente. O TPS trouxe a ideia de fluxo contínuo, ou seja, sem interrupções. Para isso o processo como um todo deve operar de forma estável, sem flutuações, e as matérias primas que vêm de fornecedores externos devem ser constantemente fornecidas. Para atingir o fluxo contínuo alguns passos devem ser seguidos (OHNO, 1988).

a) Balanceamento da linha de produção

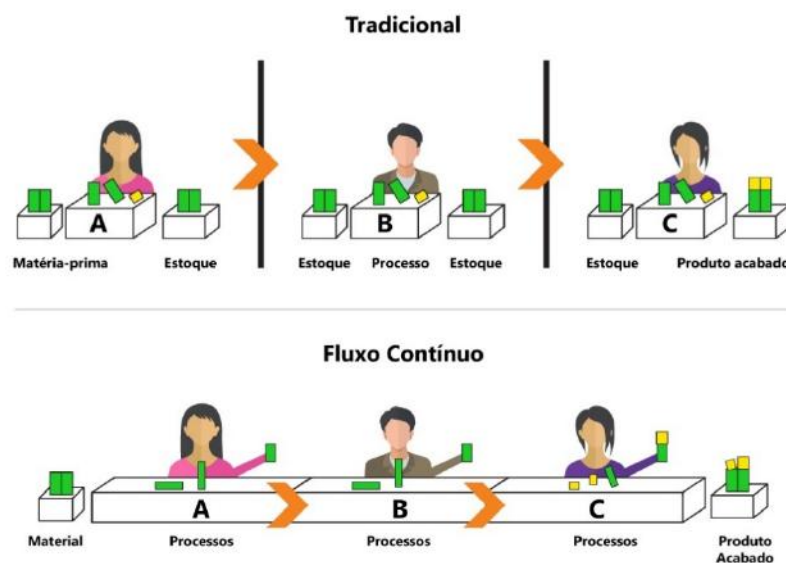
O balanceamento da linha de produção é a atribuição de tarefas aos postos de trabalho de modo que o tempo necessário para realizar essas tarefas seja aproximadamente igual entre todas as estações de trabalho. O ritmo de produção deve ser definido em função da demanda. O *Takt time* é a métrica *Lean* que faz o alinhamento entre demanda e produção (WOMACK e JONES, 1996; ROTHER e SHOOK, 1999).

b) Fluxo contínuo

A implementação de um fluxo contínuo surgiu da necessidade de reduzir o *lead time* de produção. Fluxo contínuo se refere a produzir uma peça por vez, e cada uma dessas peças

passa para o próximo processo sem interrupções entre eles, como mostra a Figura 2. Para que esse fluxo ocorra é necessário abrir mão do *layout* tradicional fabril, onde máquinas com processos similares eram agrupadas, e criar um processo em linha, integrando processos diversos para fabricar determinada família de produtos. Os benefícios do fluxo contínuo são o aumento da reatividade e a diminuição dos tempos de troca de dimensão, além da diminuição do WIP⁷ e controle de qualidade imediato (WOMACK e JONES, 1996; ROTHER e SHOOK, 1999).

FIGURA 2: COMPARAÇÃO ENTRE O FLUXO TRADICIONAL E O CONTÍNUO



Fonte: Velki (2021)

O efeito da criação de fluxos contínuos é sentido na redução dos tempos de concepção de produtos e processamento de pedidos e na diminuição dos estoques. A rapidez no desenvolvimento, produção e distribuição de um produto dá ao mesmo uma “atualidade”, isso significa que a empresa atende à necessidade do cliente quase instantaneamente (WERKEMA, 2012a).

c) Um operador, vários processos

O TPS propôs novos arranjos de máquinas a fim de provar que um único funcionário poderia operar mais de uma máquina. A implementação do *autonomation* auxiliou a implementação desses novos arranjos permitindo que um operador não ficasse cem por cento

⁷ WIP é a sigla para Work in Progress que se refere aos itens que estão dentro dos limites do processo, mas ainda não foram liberados.

do tempo na máquina. Os benefícios são o melhor gerenciamento do absenteísmo, o balanceamento dos postos de trabalho, o aumento da eficiência, melhoria da reatividade às flutuações de volume, além de gerar um melhor ambiente de trabalho (OHNO, 1988; WOMACK e JONES, 1996).

d) Layout funcional

O *layout* da linha de produção deve seguir alguns princípios que ajudam a aumentar a eficiência global do atelier (OHNO, 1988).

- A linha de produção deve ser dimensionada de acordo com o volume e os tempos de ciclo dos produtos.
- Os estoques devem ser justos, somente o necessário para não ocupar espaço desnecessário, e devem ficar ao lado da linha de produção.
- A conformação dos postos de trabalho deve ser tal que minimize os transportes de produtos entre as estações de trabalho.
- Os materiais essenciais devem estar em locais de fácil acesso.

e) Organização do posto de trabalho

O posto de trabalho deve estar organizado de forma que o operador se movimente o mínimo possível para alcançar materiais e ferramentas, e todos os instrumentos essenciais devem estar à vista para evitar que o operador perca tempo procurando objetos e documentos. A ferramenta 5S⁸ é utilizada para guiar essa organização (WOMACK e JONES, 1996).

II.3.1.4. Princípio 4: Produção Puxada

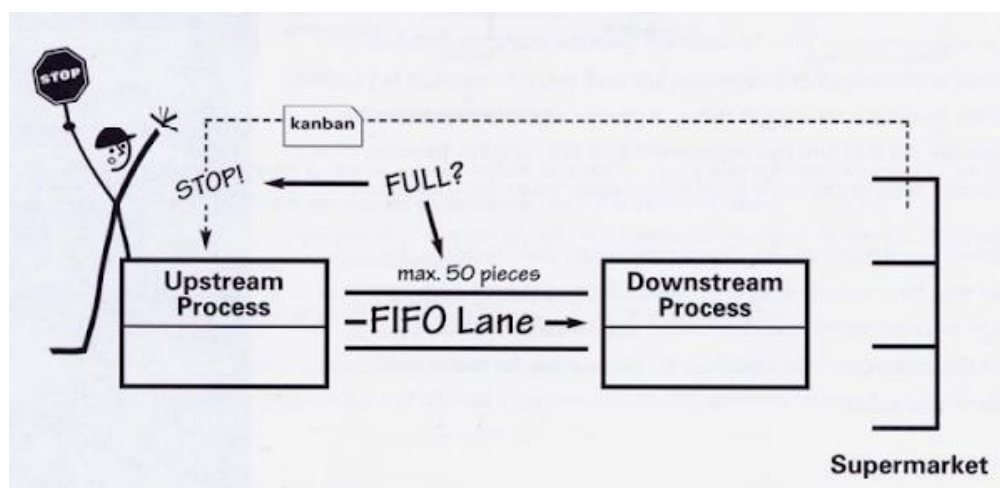
O termo “puxar o fluxo” significa, de forma simplificada, que o processo anterior não pode produzir um bem ou serviço até que o processo seguinte solicite. As tarefas são lançadas no sentido oposto da produção. Quando o processo da frente retira um produto do processo anterior, o anterior começa a produzir para reabastecer o estoque de produtos prontos. Esse sistema contribui para a redução do WIP e do estoque de produtos acabados (WOMACK e JONES, 1996).

⁸ 5S é um programa de gestão da qualidade empresarial que promove a melhoria contínua e visa aperfeiçoar a limpeza e a organização do local de trabalho para torná-lo mais eficiente.

O fluxo puxado surgiu da observação do funcionamento de um supermercado. Em um supermercado o consumidor retira da prateleira o produto que precisa, no momento que precisa e na quantidade que precisa. Em princípio, o supermercado é um lugar onde compramos de acordo com a necessidade. A ideia central é a visualização do processo anterior como uma loja. O processo posterior (cliente interno) adquire os itens necessários do processo anterior (supermercado) no tempo e quantidade necessários. O processo anterior então produz a quantidade retirada e repõe os itens. Para evitar confusão do processo anterior quando o próximo retira uma quantidade grande de itens de uma só vez é importante estar implementado o balanceamento da produção. (OHNO, 1988)

O sistema de fluxo puxado é uma boa opção para controlar a produção entre processos que não podem ser integrados. Porém, quando é necessário um estoque muito variado de peças entre os processos e as peças não têm um tempo de vida longo e/ou possuem alto custo e baixa frequência de utilização, é interessante implementar o modelo FIFO (*“first in, first out”*). Esse modelo reduz o risco de perda de produtos por vencimento de seus prazos de validade pois ele organiza as mercadorias por data de fabricação. A primeira a ser fabricada deve ser a primeira da fila para que ela saia primeiro, e a mais nova deve ser a última da fila. O FIFO (Figura 3) restringe o número de peças no estoque. Quando a fila de produtos fica cheia o processo anterior (fornecedor) deve parar a produção até que o processo posterior (cliente) consuma alguma peça do estoque (ROTHER e SHOOK, 1999).

FIGURA 3:ESQUEMA DE FIFO EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO



Fonte: Mike Rother e John Shook (1999, p.51).

II.3.1.5. Princípio 5: Buscar a Perfeição

O aperfeiçoamento da cadeia de produção deve ser o objetivo constante de todos os seus membros. A busca contínua pelo estado ideal deve nortear todos os esforços da empresa, em processos transparentes em que todas as pessoas, independente da hierarquia organizacional, tenham conhecimento e possam criticar e buscar soluções para criar valor.

A utilização das ferramentas *Lean* auxiliam a implementação dos Cinco Princípios e imprimem velocidade ao processo de mudança organizacional. Para quantificar o progresso trazido pelo uso das ferramentas, utiliza-se as métricas *Lean* que serão discutidas no próximo subtópico.

II.3.2. MÉTRICAS DO *LEAN MANUFACTURING*

As métricas *Lean* são medidas utilizadas para quantificar a velocidade e eficiência dos resultados de uma organização. Elas auxiliam a comparação entre metas e os resultados obtidos ao final de um projeto de melhoria. Logo abaixo estão apresentadas algumas das principais métricas *Lean* que serão mencionadas no desenvolvimento da metodologia (WERKEMA, 2012a).

- Tempo de Ciclo (T/C): tempo que um operador leva para realizar todos os elementos de trabalho antes de repeti-los.
- Lead time (L/T): tempo que um produto leva para percorrer todo o processo, desde o início até o final.
- Tempo de valor-agregado: tempos dos elementos de trabalho que realmente transformam o produto da maneira que o cliente está disposto a pagar.
- Tempo de não valor-agregado: tempo gasto em atividades que oneram custo ao processo, mas não agregam valor do ponto de vista do cliente.
- Takt time: parâmetro utilizado para sincronizar o ritmo de produção com o ritmo de vendas. É um indicador de alinhamento que fornece a referência de taxa de produção de um processo.

O *Takt Time* é calculado dividindo o tempo de abertura (tempo disponível para produção) por turno, em segundos, pela demanda do cliente por turno, em unidades.

$$Takt\ time = \frac{\text{Tempo disponível de produção por turno}}{\text{demanda do cliente por turno}}$$

- Overall Equipment Effectiveness (OEE): é utilizado para determinar a eficiência de processos automáticos e semiautomáticos. O OEE é calculado pela seguinte equação:

$$OEE = \text{taxa de disponibilidade} \times \text{taxa de desempenho} \\ \times \text{taxa de qualidade}$$

A taxa de disponibilidade é definida como a divisão do tempo de produção planejado menos as paradas pelo tempo de produção planejado. Essa taxa mede a porcentagem de paradas causadas por falhas em equipamentos em relação ao tempo total (WERKEMA, 2012a; HEDMAN *et al*, 2016).

A taxa de desempenho é a multiplicação do tempo de ciclo ideal pelo número de peças produzidas dividido pelo tempo de execução real. Essa taxa mede as paradas relativas à velocidade de operação, o funcionamento em velocidades reduzidas e paradas que duram alguns segundos (WERKEMA, 2012a; HEDMAN *et al*, 2016).

A taxa de qualidade é a proporção de produtos aceitáveis em relação ao total produzido. Essa taxa representa as perdas por refugo e retrabalho (WERKEMA, 2012a; HEDMAN *et al*, 2016).

Essas três taxas visam capturar as “seis grandes perdas”, introduzidas por NAKAJIMA (1988), que existem em um processo:

- Perdas de disponibilidade: falhas em equipamentos e trocas de dimensão.
- Perdas de desempenho: devido à pequenas falhas e produção em velocidade reduzida (marcha degradada).
- Perdas de qualidade: produtos defeituosos, que serão descartados ou passarão por reparos, e rendimento reduzido em partidas de máquina

II.3.3. FERRAMENTAS *LEAN*

As ferramentas *Lean* são utilizadas para melhoria de processos de forma ágil e prática, objetivando a redução dos desperdícios e a criação de um processo enxuto. Os próximos tópicos serão destinados a explicar algumas das principais ferramentas *Lean*.

II.3.3.1. *Kanban*

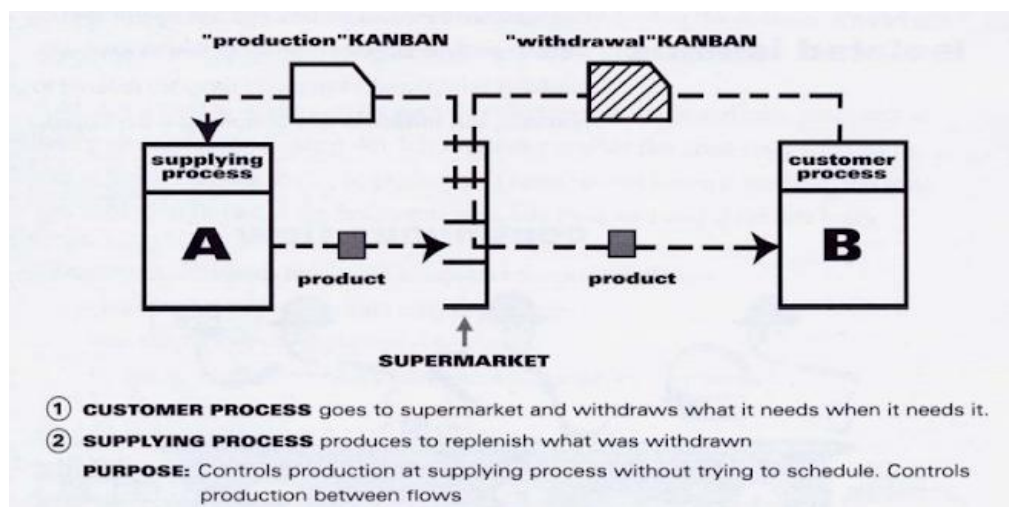
Esse sistema foi introduzido pela Toyota em 1953, com intuito de fazer com que a informação fluísse de forma suave para trás, do cliente para o fornecedor, na mesma taxa em que os produtos fluíssem para frente (WOMACK e JONES, 1996). OHNO (1988) acrescentou que esse é um método visual de controle e balanceamento da produção e eliminação de perdas. O estoque entre processos é operado de acordo com a demanda do processo seguinte, ou seja, uma peça será resposta somente quando o processo seguinte retirar uma peça do estoque. O propósito do *Kanban* é atingir o *just-in-time*.

Na indústria, o *Kanban* é um sistema utilizado para reduzir mão-de-obra e estoques, eliminar produtos defeituosos e prevenir panes recorrentes. Para que ele funcione de forma efetiva, é necessário seguir algumas regras (OHNO, 1988):

- O processo posterior pega o número de peças indicado pelo *kanban*;
- O processo anterior produz os itens na quantidade e sequência indicada pelo *kanban*;
- Nenhum item é fabricado ou transportado sem um *kanban*;
- Todo produto deve estar relacionado a um *kanban*;
- Produtos defeituosos não podem ser enviados para o processo seguinte;
- A redução do número de *kanban* aumenta sua sensibilidade.
- A implementação do *kanban* implica em estabelecer um ciclo de fornecimento.

Um sistema de *Kanban* de um supermercado está ilustrado na Figura 4.

FIGURA 4: ESQUEMA DE KANBAN EM UM SUPERMERCADO



Fonte: Rother e Shook (1999, p.49).

II.3.3.2. Gestão Visual

Gestão visual é a “colocação em local de fácil visualização de todas as ferramentas, peças, atividades de produção e indicadores de desempenho do sistema de produção, de modo que a situação do sistema possa ser entendida rapidamente por todos os envolvidos” de acordo com LEAN INTERPRISE (2011, *apud* WERKEWMA, 2012, p.87).

Essa ferramenta permite maior rapidez de resposta na ocorrência de anomalias, visualização imediata do alcance da meta escolhida ou não, visualização imediata dos procedimentos operacionais padrão e aumento da conscientização para eliminação de desperdícios.

Logo abaixo está um exemplo de gestão visual que pode ser aplicado para controle da produção. O Quadro *Takt* (Tabela 1) mostra o cronograma de trabalho desejado, as diferenças entre o realizado e o desejado e os motivos para tal. Ele permite um melhor controle do ritmo de produção de acordo com a demanda do cliente.

TABELA 1: QUADRO TAKT

Quadro <i>Takt</i>: Departamento de Recebimento de Pedidos				
Ontem:	443 Pedidos		1,61 Pedidos/h	
Hoje:	440 Pedidos		1,66 Unidades/h	
Hora	Previsto	Efetivo	Dif. +/-	Comentários
7:00 - 8:00	60	53	-7	Queda do sistema por cinco minutos
8:00 - 9:00	60	59	-8	
9:00 - 10:00	45	48	-5	
10:00 - 11:00	60	61	-4	Atraso no almoço
11:00 - 12:00	30	34	0	
12:00 - 13:00	60	59	-1	
13:00 - 14:00	50	50	-1	
14:00 - 15:00	40	41	0	
15:00 - 16:00	35	35	0	Acima de sete min.: Problema com software
Totais	440	440		

Fonte: Adaptado de Werkema (2012a, p.88)

II.3.3.3. 5 Porquês

É uma ferramenta simples utilizada na determinação do problema raiz. Consiste em repedir a pergunta “Por que?” cinco vezes e responder cada a uma delas. Essa ferramenta foi utilizada por Ohno para construir o Sistema Toyota de Produção (OHNO, 1988). Ela

direciona o problema para uma única causa raiz, portanto, não é uma boa opção para problemas complexos que podem ter várias causas.

II.3.3.4. Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM)

Em 1999, Rother e Shook adaptaram os diagramas de fluxo material e de informação da Toyota e criaram o Mapeamento do Fluxo (ou cadeia) de Valor (VSM). Os autores introduziram o passo-a-passo para desenvolver um mapa de fluxo e padronizaram os ícones utilizados na criação do mapa no livro” *Learning to see, Value Stream Mapping to add value and eliminate Muda*” (ROTHER e SHOOK, 1999). Essa representação permite visualizar onde ocorrem os desperdícios durante processo, além de tornar possível a determinação de métricas importantes como tempo de valor-agregado, tempo de não-valor-agregado e tempo de ciclo (ROTHER e SHOOK, 1999, LIKER 2004; VENKATARAMAN *et al*, 2014).

O fluxo de valor pode ser definido como todas as atividades, com ou sem valor agregado, realizadas por uma empresa para projetar, produzir e entregar seus produtos, bens ou serviços, aos clientes. É constituído pelo fluxo de materiais, dos fornecedores até a entrega aos clientes, transformação da matéria prima em produtos acabados e fluxos de informações, que apoiam e direcionam os dois anteriores (WERKEMA, 2012a).

O Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) é uma ferramenta que auxilia na identificação dos fluxos de materiais e de informação, que fazem parte do processo de transformação de um determinado produto. Consiste em seguir o caminho de produção de um bem ou serviço, do cliente até o fornecedor, e detalhadamente desenhar, utilizando símbolos padronizados (Figura 5), uma representação visual de cada etapa do processo (ROTHER e SHOOK, 1999).

FIGURA 5: EXEMPLO DE ÍCONES UTILIZADOS NO VSM



Fonte: Happytality (2019)

O mapeamento pode ser dividido em cinco etapas: identificação da família de produtos, mapeamento do estado atual, desenho da situação alvo, construção do plano de ação e checagem dos resultados.

a) Etapla 1: Identificação da família de produtos

Em uma grande indústria, cuja gama de produtos é diversa, não é possível fazer o mapeamento de todos os produtos ao mesmo tempo devido à complexidade do processo. Portanto, escolhe-se uma família de produtos ou um produto em particular, que seja relevante para o cliente final, para serem alvos de melhoria (ROTHER e SHOOK, 1999).

A família de produtos consiste no grupo de produtos que passam por etapas similares no processo de fabricação e utilizam equipamentos em comum (ROTHER e SHOOK, 1999).

Para auxiliar na identificação da família é possível criar uma matriz (Tabela 2) com as etapas de produção e/ou equipamentos em um eixo e os produtos em outro.

TABELA 2: MATRIZ DE IDENTIFICAÇÃO DA FAMÍLIA DE PRODUTOS

		ETAPAS DE MONTAGEM E EQUIPAMENTOS							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PRODUTOS	A	x	x	x					
	B	x	x	x	x	x	x		
	C	x	x	x		x	x	x	
	D		x	x	x			x	x
	E		x	x	x			x	x
	F	x		x		x	x	x	
	G	x		x		x	x	x	

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (1999, p.7).

b) Etapa 2: Mapeamento do estado atual

O mapeamento se inicia com uma caminhada da equipe no campo com lápis, papel e cronômetro em mãos para desenhar os fluxos e medir os tempos de cada atividade, partindo da expedição final e seguindo pelos processos anteriores até o setor de matérias primas. Essa inversão na forma de enxergar o fluxo garante que levemos em consideração a definição de valor do cliente discutida mais acima, eliminando o risco de criarmos um mapeamento eficiente, porém que não atende a necessidade do cliente. É importante que os tempos sejam tomados no momento do mapeamento ao invés de utilizar dados históricos que podem não refletir a realidade presente. O objetivo dessa etapa é a visualização dos fluxos de material e de informação da situação atual do processo (ROTHER e SHOOK, 1999; WERKEMA, 2012a).

O mapa pode ser desenhado seguindo o passo-a-passo apresentado por ROTHER e SHOOK (1999):

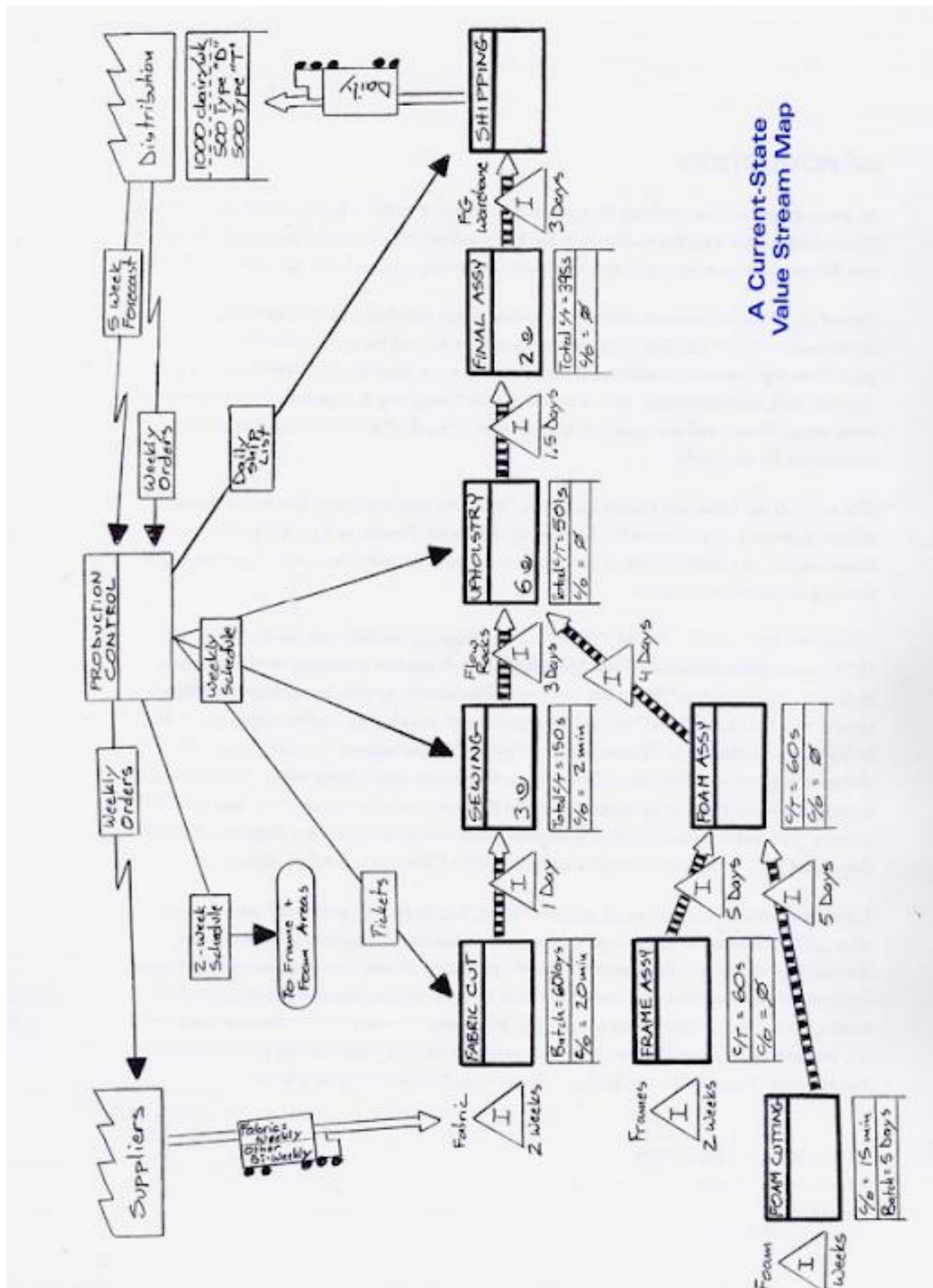
- Identificar o cliente e suas necessidades na parte superior direita do mapa
- Desenhar os processos de produção da esquerda para direita na parte inferior do mapa. Cada processo deve ter uma caixinha com as informações mais relevantes para o tipo de estudo que está sendo realizado, que podem ser: tempo de ciclo, número de operadores que realizam a atividades, disponibilidade, índice de refugo e tempo de setup. Os estoques também devem ser desenhados no mapa bem como a quantidade e/ou tempo de estoque.
- Utilizando os ícones adequados, desenhar o movimento de entrega de produtos acabados para o cliente especificando a frequência de carregamento.

- Na parte superior esquerda do mapa, representar os fornecedores das principais matérias primas.
- Desenhar na parte superior, da esquerda para a direita, o fluxo de informações.
- Identificar os materiais que estão em fluxo puxado e empurrado por meio de setas diferentes – seta listrada para produção empurrada e seta em círculo para puxada (Figura 5)
- Por fim, registrar o *lead time* em uma linha do tempo que deve ser desenhada abaixo de todos os ícones de processo e estoque.

Após a finalização da construção do mapa atual, a equipe deve então identificar as atividades que agregam valor para o cliente e as que não agregam, para trazer à tona os desperdícios presentes no processo e sinalizar em que etapa eles ocorrem. As informações do mapa atual são utilizadas como base para projetar as melhorias e planejar o mapa do estado futuro (ROTHER e SHOOK, 1996; VENKATARAMAN *et al*, 2014).

Um exemplo de mapa da situação atual se encontra logo abaixo (Figura 6). Note que nessa organização existem oito caixas de processos, que funcionam em fluxo empurrado com estoques entre eles. O processo *foam cutting* trabalha com lotes de cinco dias e tem tempo de *setup*, identificado como C/O (do inglês, *change over*), de 15 min. Os produtos de fornecedores externos são entregues semanalmente para tecidos (*fabric*) e a cada duas semanas para as demais matérias-primas. No processo *fabric cut* trabalha-se com lotes de 60 peças e seu tempo de *setup* é de 20 min. O tempo de ciclo dos três processos seguintes, *sewing*, *upholstry* e *final assy*, são, respectivamente, 150, 501 e 395 segundos. Esse processo será otimizado na etapa 3 e dará origem a um novo mapa.

FIGURA 6: MAPA DO FLUXO DE VALOR DA SITUAÇÃO ATUAL.



Fonte: Rother e Shook (1999, p.0)

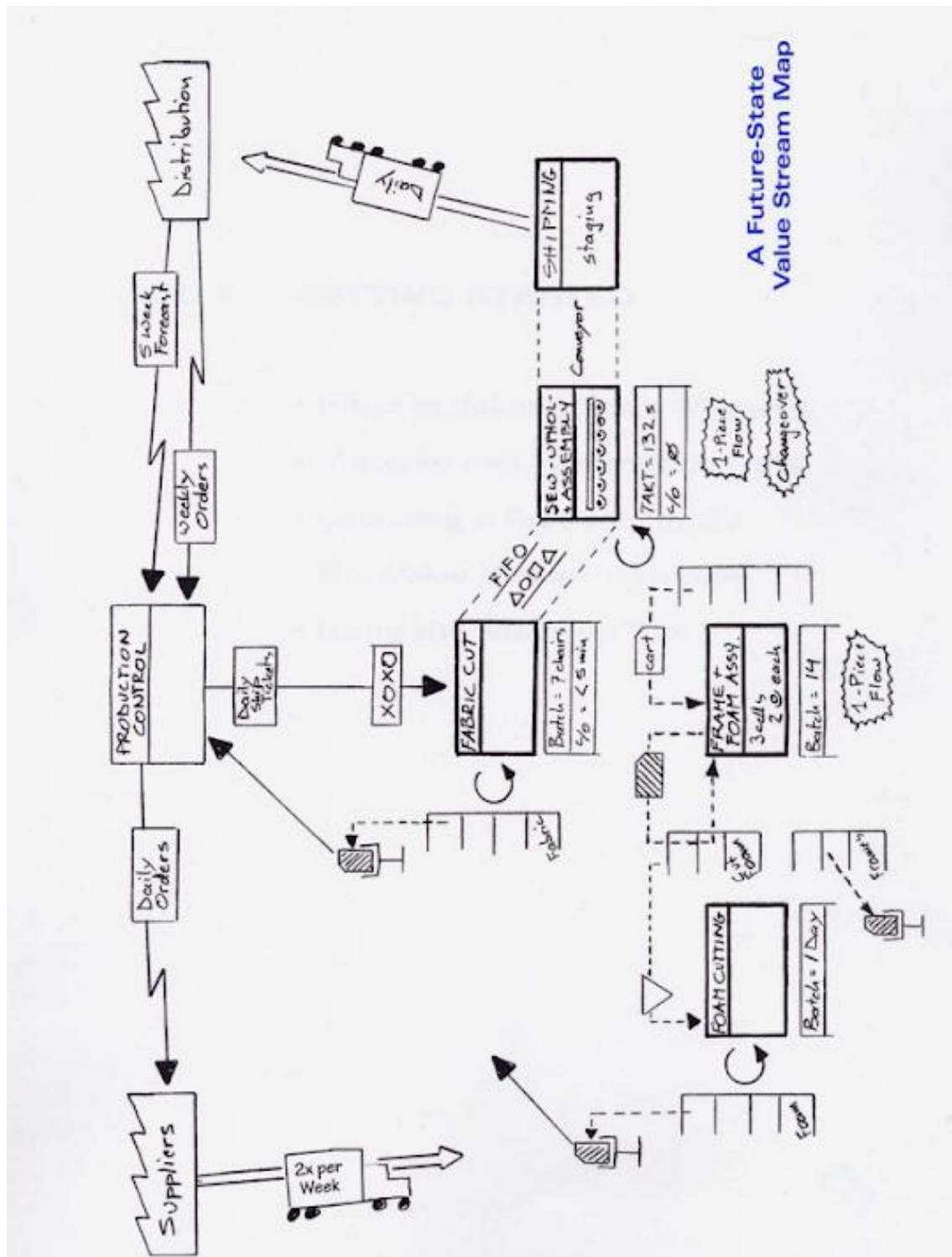
Etapa 3: Desenho da situação alvo

Após a identificação das etapas sem valor agregado no mapa atual, desenha-se o mapa futuro, que pode ser entendido como uma representação ideal do fluxo com o mínimo de desperdícios. Esse mapa deve se aproximar dos objetivos do projeto e portanto os seguintes elementos são considerados chaves e devem ser analisados de perto: a necessidade do cliente, as etapas do processo de transformação, as métricas do processo, os estoques, fornecedores e fluxos de materiais, fluxos de informações, *lead time* do processo e *Takt time* (VENKATARAMAN, 2014; ROHANI e ZAHRAEE, 2015). Para nortear a construção do mapa futuro algumas perguntas devem ser feitas, por exemplo:

- Qual desperdício pode ser eliminado?
- Qual estoque pode ser eliminado?
- Quais operações podem ser combinadas?
- O processo é puxado ou empurrado?
- Qual é o objetivo de *lead time*?

O mapa da Figura 6 foi otimizado e deu origem ao mapa da situação futura que está ilustrado logo abaixo (Figura 7). Perceba que os oito processos se tornaram cinco, pois os processos *frame* e *foam assy* foram combinados em um único processo de fluxo contínuo (peça única) assim como os processos *sewing*, *upholstry* e *final assy*. Os fluxos empurrados foram substituídos por sistemas de produção puxada utilizando *Kanban* e FIFO entre os processos. Os estoques foram eliminados e os tempos de *setup* reduzidos. Foi sinalizado também a necessidade de Kaizen em *frame+foam assy* e *sewing+upholstry+ final assy*. As matérias primas devem ser entregues duas vezes por semana, de acordo com esse novo mapa.

FIGURA 7: MAPA DO FLUXO DE VALOR DA SITUAÇÃO FUTURA



Fonte: Rother e Shook (1999, p.0)

c) Etapa 4: Construção do plano de ação

As oportunidades levantadas na elaboração da situação alvo são priorizadas. As ações selecionadas como prioritárias vão para o plano de ação, que deve conter: o que se planeja fazer e quando, metas quantificáveis e pontos de checagem claros com prazos e avaliadores definidos. (ROTHER e SHOOK, 1999; WERKEMA, 2012a).

d) Etapa 5: Checagem dos resultados

A última etapa do mapeamento do fluxo é a checagem dos resultados obtidos após a realização do plano de ação. Se eles atingem o objetivo o processo está finalizado. Senão, deve-se voltar ao mapa para procurar novas oportunidades de melhoria (LU, 2014).

A aplicação do VSM foi utilizada por diversos autores para fins variados em diferentes setores da indústria, como por exemplo no setor siderúrgico, para identificar oportunidades de aplicação de técnicas de produção enxuta aliado à um modelo de simulação para checagem dos resultados (ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2006); no setor de fabricação de peças automotivas com o objetivo de identificar oportunidades para reduzir de *lead time* e WIP (AR e AL-ASHRAF, 2012); no processo de fabricação de virabrequins numa fábrica de automóveis, com o objetivo de reduzir o *lead time* de fabricação, reduzir defeitos e aumentar a capacidade para atender a demanda do cliente (VENKATARAMAN *et al*, 2014); na indústria de tintas para melhoria de produtividade, com a redução do *lead time* e aumento da porcentagem de processos com valor agregado (RAHONI e ZAHRAEE, 2015).

II.3.4. FILOSOFIA *LEAN*

Com a popularização do *Lean*, o número de empresas interessadas em implementar a metodologia em suas organizações cresceu. Porém, grande parte delas se preocupou somente com a aplicação das ferramentas e não levou em consideração a filosofia de respeito às pessoas que esse modelo traz (LIKER, 2004). A simples aplicação das ferramentas não torna uma organização enxuta.

A cultura *Lean* envolve a melhoria contínua como forma de criar um ambiente de aprendizagem contínua em que os colaboradores não apenas aceitam as mudanças, mas participam delas. Esse ambiente só é possível fornecendo segurança no trabalho e engajando diariamente os membros da equipe na participação ativa da melhoria de suas atividades. Os

gerentes devem desenvolver a confiança e o entendimento mútuo entre todos os membros da equipe em direção a um objetivo comum, estimulando-os a contribuírem com suas ideias para a melhoria da organização (LIKER, 2004; CADDEN *et al*, 2020; HARDCOFF *et al*, 2021).

A preocupação com a segurança do colaborador no processo de melhoria contínua, comentada no parágrafo anterior, fica clara no seguinte trecho traduzido livremente para o português:

Todo método disponível para redução desde mão de obra à custos deve, é claro, ser perseguido vigorosamente; porém, não devemos nunca esquecer que a segurança é a base de todas as nossas atividades. Há momentos em que a melhoria das atividades não deve proceder em nome da segurança. Nesses casos, retorne ao ponto de partida e dê uma outra olhada no propósito dessa operação. Nunca fique satisfeito com a falta de ação. Questione e redefina seu propósito para atingir o progresso (OHNO, *apud* LIKER, 2004, p.32)

II.4. Seis Sigma e Metodologia DMAIC

No final de 1980 e início de 1990 a Motorola estava sendo engolida pelas concorrentes japonesas. A fabricação de produtos de baixa qualidade devido à falta de um programa de qualidade único fez com que a insatisfação dos clientes aumentasse e a Motorola perdesse mercado (PANDE, 2000). Em 1987, George Fisher introduziu o conceito inovador chamado *Seis Sigma*. Esse conceito deu a marca uma maneira simples e consistente de rastrear e comparar seu desempenho aos requisitos do cliente e uma meta ambiciosa de qualidade praticamente-perfeita. O *Seis Sigma* deu força a empresa para atingir uma meta que parecia impossível naquele momento: melhoria de dez vezes ao longo de cinco anos. Durante esses anos a marca deu maior atenção à taxa de melhoria de processos e produtos. Apenas dois anos após o lançamento do *Seis Sigma*, a Motorola foi homenageada com o Prêmio Nacional de Qualidade de Malcolm Baldrige. Esse novo conceito proporcionou crescimento de cinco vezes nas vendas, com lucros crescendo 20% ao ano, economia cumulativa de \$14 bilhões e aumento no preço das ações. A empresa foi além da simples aplicação de ferramentas, entendeu que o *Seis Sigma* é uma forma de impulsionar o negócio através da comunicação, treinamento, liderança, trabalho em equipe, medição e foco nos clientes (PANDE *et al*, 2000).

A partir do sucesso da Motorola outras empresas como Asea Brown Boveri, AlliedSignal, General Electric (GE) e Sony, implementaram o programa *Seis Sigma* para aumentarem a lucratividade, seja por redução dos custos dos materiais ou redução no nível de

defeitos, através da melhoria de produtos, diminuição do tempo de ciclo e otimização de estoques (PANDE *et al*, 2000; WERKEMA, 2012b).

No Brasil, a primeira empresa a implementar o Seis *Sigma* foi a Whirlpool (Grupo Brastemp e Consul), que obteve um retorno de 20 milhões em 1999, após a implementação de projetos que utilizam esse conceito (WERKEMA, 2012b)

O Seis *Sigma* é entendido de várias maneiras por diferentes autores. FELD e STONE (2002) entendem o Seis *Sigma* como uma filosofia baseada em dados para direcionar decisões e ações de gerenciamento de uma organização. CAULCUTT (2001, *apud* JONES, 2010) focou na redução de desperdícios, aumento da satisfação do cliente e melhoria de processos com foco em resultados financeiros mensuráveis para conceituar o Seis *Sigma*. HAMMER (2002, *apud* JONES, 2010) definiu como um conjunto de metodologias e técnicas voltadas para melhoria da qualidade e redução de custos, utilizando uma metodologia estruturada para resolver problemas organizacionais. PANDE *et al* (2000) definiu o Seis *Sigma* como um sistema abrangente e flexível que visa alcançar, sustentar e maximizar o sucesso do negócio, impulsionado pela compreensão da necessidade do cliente, uso de dados e análises estatísticas e atenção ativa para gerenciar, melhorar e reinventar processos. Portanto, o Seis *Sigma* pode ser definido de três formas dependendo do contexto: filosofia de gerenciamento, metodologia de solução de problemas e/ou nível de qualidade.

Os aspectos fundamentais do Seis *Sigma* são o atendimento da necessidade do cliente e conseqüentemente sua satisfação, a redução da variabilidade, criação de uma infraestrutura com papéis bem definidos para os patrocinadores e especialistas da metodologia e aplicação efetiva à processos administrativos, de serviços e transações (WERKEMA, 2012b).

A implementação do Seis *Sigma* proporciona redução de custos, melhoria na produtividade, aumento da participação no mercado, fidelização do cliente, redução do tempo de ciclo, redução de defeitos, mudança cultural e desenvolvimento de produtos e serviços. (PANDE *et al*, 2000; JONES *et al*, 2010; WERKEMA, 2012b)

O Seis *Sigma* utiliza duas ferramentas principais de gestão da qualidade para estruturar a implementação de projetos de melhoria: DMADV (Definir, Medir, Analisar, Projetar e Verificar) e DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar). O primeiro é utilizado em projetos cujo escopo é o desenvolvimento de novos produtos e processos. Já o DMAIC é o método mais utilizado em projetos de melhoria de processos, focado na eliminação de desperdícios.

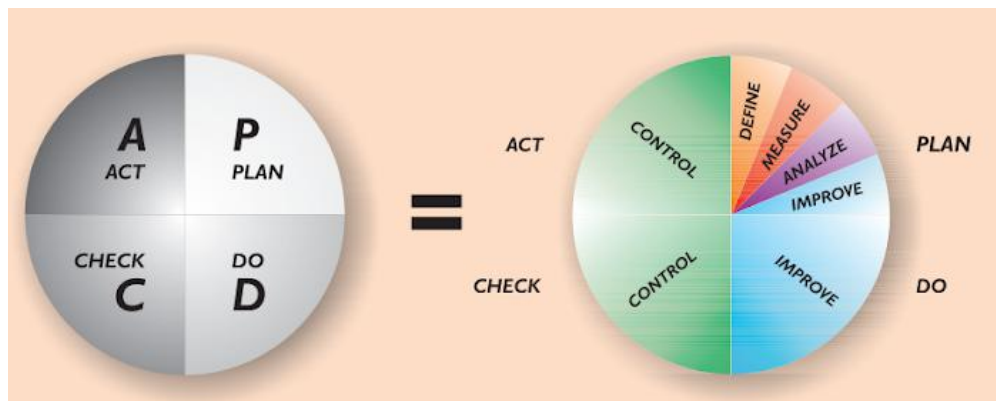
É possível fazer uma correspondência entre o DMAIC e o ciclo PDCA (Figura 8), também denominado Ciclo de Deming, que consiste em um modelo de melhoria contínua. O

ciclo de Deming permite dois tipos de ações corretivas: temporárias e permanentes. As ações corretivas temporárias são utilizadas para enfrentar e resolver um problema. Já as ações corretivas permanentes consistem em investigar e eliminar um problema na causa raiz, proporcionando sustentabilidade ao processo.

O PDCA segue quatro etapas: Planejar, Implementar, Verificar e Agir, que estão resumidamente explicadas abaixo (SOKOVIC *et al*, 2010; IMAI, 2012; WERKEMA, 2012b).

- Planejar: nessa etapa o problema é identificado, suas causas são analisadas e uma contramedida é formulada.
- Implementar: um plano é elaborado para implementar as contramedidas, em seguida ele é divulgado e executado.
- Verificar: o monitoramento do progresso do plano é realizado e os resultados são avaliados.
- Agir: nessa etapa se avalia se a meta foi atingida com a realização do plano. Se o plano alcançou a meta traçada, as contramedidas efetivas devem ser padronizadas. Senão, deve-se iniciar novamente o ciclo.

FIGURA 8: RELAÇÃO ENTRE PDCA E DMAIC



Fonte: Werkema (2012, p. 38)

O DMAIC pode ser entendido como uma estrutura de resolução de problemas com foco na melhoria contínua. Cada letra da palavra DMAIC representa uma fase da metodologia portanto, são cinco passos a serem seguidos: definir, medir, analisar, melhorar (do inglês, *improve*) e controlar. Essa estrutura fornece as ferramentas e metodologias que permitem definir de forma clara um problema complexo e identificar as causas raízes, para que sejam tratadas de forma definitiva (PANDE *et al*, 2000; KUMAR e SOSNOSKI, 2009; SOKOVIC *et al*, 2010; WERKEMA, 2012b).

As características positivas dessa metodologia são a ênfase nas fases de planejamento (D, M e A) antes que as ações sejam executadas, a existência de um roteiro para realização das atividades, que contribui para análises mais profundas, conclusões mais sólidas e resultados perenes, ênfase na Voz do Cliente, confiabilidade dos dados, validação do retorno econômico e revisão do projeto ao final de cada etapa DMAIC para avaliar seu desenvolvimento (WERKWMA, 2012b). O próximo tópico será destinado a explicar cada fase do DMAIC.

II.4.1. ETAPAS DMAIC

II.4.1.1. Definir

O foco da primeira fase é a definição do escopo do projeto. Uma descrição do problema é feita com o objetivo de traçar as metas do estudo. É importante avaliar o histórico do problema, o impacto sobre o cliente e alinhar com a estratégia da empresa (WERKEMA, 2012b).

As seguintes perguntas podem nortear a definição do escopo:

- Qual é o problema a ser abordado no projeto?
- Qual é a meta a ser atingida?
- Quais são os clientes e consumidores afetados pelo problema?
- Qual é o processo relacionado ao problema?
- Qual é o impacto econômico do projeto?

Um contrato de projeto, denominado *Project Charter*, deve ser elaborado nessa etapa com o objetivo de registrar os passos iniciais do projeto. É um documento que contém claramente o que é esperado em relação a equipe, que alinha os objetivos entre todos os envolvidos, que mantém a equipe dentro do escopo definido para o projeto, e que firma o compromisso entre a equipe responsável pelo estudo e os gestores da empresa (WERKEMA, 2012b).

A fase D pode ser dividida em três passos: identificação da necessidade do cliente, definição do processo envolvido e construção e validação do contrato de projeto. (DE MAST e LOKKERBOL, 2012)

II.4.1.2. Medir

Durante essa etapa, a coleta de dados do processo que será otimizado é realizada. Essa coleta deve ser direcionada para informações que ajudem a entender melhor o processo e identificar o local em que os problemas podem ocorrer. Informações como demanda do cliente, estoques e tempo de ciclo são levantadas nessa fase. A aplicação do mapeamento da cadeia de valor inicial é a principal ferramenta desta etapa, com o objetivo de tornar mais clara a situação inicial do processo e auxiliar na identificação dos desperdícios e atividades NVA. A coleta de dados envolve (NANDAKUMAR, 2018; SMETKOWSKA e MRUGALSKA; 2018):

- Passo 1: Identificação de métricas válidas e confiáveis
- Passo 2: Verificação da suficiência de dados coletados
- Passo 3: Documentação do desempenho atual
- Passo 4: Realização de testes comparativos

A principal questão da fase M é a tradução do problema em uma forma mensurável. É preciso eleger os dados que serão necessários na fase de controle para comparar e avaliar o progresso ao final do estudo de otimização. O objetivo da Fase Medir é determinar a localização ou foco do problema (WERKEMA, 2012b)

II.4.1.3. Analisar

Na fase de Análise os problemas prioritários levantados na Fase Medir são analisados e suas causas raízes são determinadas utilizando diversas ferramentas e métodos como 5 Porquês, Diagrama de Causa e Efeito, *Brainstorming*, Diagrama de Gantt, Diagrama de Pareto e Matriz de Priorização (WERKEMA, 2012b; SMETKOWSKA e MRUGALSKA, 2018)

A análise é realizada em duas etapas (PYZDEK, 2003):

- Pensamento divergente: reunir o máximo de possíveis candidatos a soluções para os problemas.
- Pensamento convergente: selecionar a melhor solução dentre todas as soluções levantadas.

II.4.1.4. Melhorar

O objetivo da Etapa Melhorar é reunir as informações necessárias para criar, propor, avaliar e implementar soluções para os problemas encontrados na fase de análise. Um plano de ação é desenvolvido nessa etapa visando a melhoria organizacional, aspectos financeiros e questões de relacionamento com o cliente. Pilotos são utilizados para confirmar a validade e precisão do trabalho analítico e fazer correções antes da aplicação das soluções em grande escala (WERKEMA, 2012b; SMETKOWSKA e MRUGALSKA, 2018)

Durante essa fase, a equipe verifica se a implementação de todas as ações garante o ganho estimado na fase de análise e, portanto, atinge a meta traçada no início do estudo. Se essa meta for atingida o projeto pode seguir para próxima fase, senão a equipe tem que retornar a Fase Medir e encontrar novas oportunidades de melhoria, problemas e desperdícios, para analisar e tratar (WERKEMA, 2012b).

II.4.1.5. Controlar

A Fase Controlar é executada quando o processo após otimizações está sendo executado da forma prevista e as metas foram alcançadas. Nessa etapa, também deve-se garantir que as metas sejam mantidas a longo prazo implementando padrões, formando os envolvidos nos novos padrões e implementando um plano de monitoramento da performance e do alcance da meta. Um plano corretivo também é pertinente nessa etapa caso surjam novos problemas no processo que coloquem em risco as metas atingidas. A última tarefa do DMAIC é resumir o que foi aprendido no projeto e fazer recomendações para os próximos estudos (WERKEMA, 2012b).

II.4.2. FERRAMENTAS DMAIC

O DMAIC utiliza diversas ferramentas já consolidadas no mercado, como Histogramas, Gráficos de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Cartas de Controle, *Poka-Yoke*, VOC, SIPOC, Diagrama de Dispersão, entre outros, para atingir os objetivos de cada fase. Algumas delas serão detalhadas abaixo.

II.4.2.1. Voz do Cliente (VOC)

A Voz do cliente é um processo de captação dos *inputs* dos clientes, descrevendo com precisão suas necessidades e expectativas para um determinado produto ou serviço. É uma

técnica de pesquisa de mercado que organiza hierarquicamente os desejos e necessidades do cliente e prioriza em termos de importância e satisfação (AGUWA, 2017).

A pesquisa de dados, qualitativa e quantitativa, é realizada no início dos estudos *Lean*, na etapa D do DMAIC. São analisados os históricos de dados, informações de mercado e experiências do cliente, além das observações no campo e entrevistas, em grupos ou individuais. Posteriormente, esses dados devem ser transformados em características críticas para a qualidade (CTQ), que pode ser entendido como um critério de satisfação do cliente. Os CTQs se transformam em indicadores mensuráveis relacionados a com as metas da empresa. Esses indicadores traduzem a necessidade do cliente em números (GRIFFING, 1993; WERKEMA, 2012b).

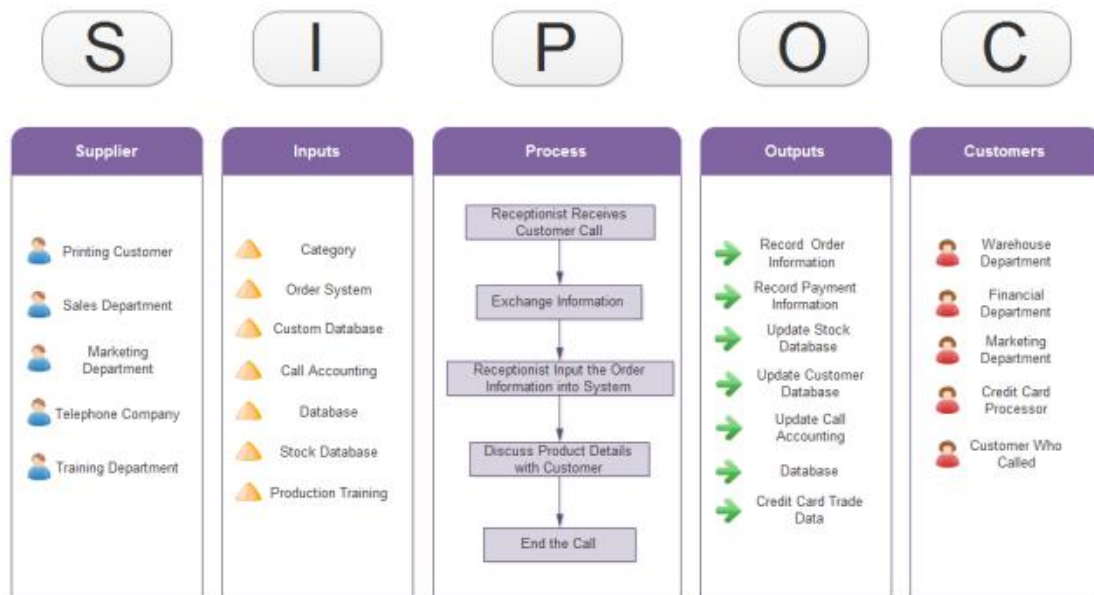
II.4.2.2. SIPOC

SIPOC é o acrônimo de *supplier* (fornecedor), *input* (entrada), *process* (processo), *output* (saída) e *customer* (cliente). É um método sistemático para explorar todos os elementos relevantes de um processo em um formato tabulado. Essa ferramenta é utilizada para definir os processos envolvidos no projeto desde o fornecedor até o consumidor, e auxiliar a identificação de gargalos na Fase D (RASMUSSEN, 2006, *apud* HUSSIAN, 2018; NANDAKUMAR, 2018).

- Fornecedor: pode ser interno, externo, prestador de serviço ou terceirizado.
- Entradas: serviços, materiais, documentos, informações, contratos.
- Processo: processo principal em estudo.
- Saídas: serviços, materiais, documentos, informações, contratos serviços.
- Cliente: interno, externo, prestador de serviço ou terceirizado

A Figura 9 apresenta um exemplo de SIPOC de um processo de uma indústria alimentícia.

Figura 9: EXEMPLO DE SIPOC DE UM CALL CENTER



Fonte: EDRAWOFT (2020)

II.4.2.3. Benchmark

Benchmarking é um método sistemático utilizado pelas companhias para se compararem às melhores práticas existentes no mercado. As empresas fazem uma pesquisa interna, entre fábricas de uma mesma empresa, ou externa, em fábricas concorrentes, com o objetivo de comparar o nível de qualidade de produtos operações e processos.

O *benchmarking* é uma ferramenta utilizada na Fase Definir para captar ideias e adaptá-las para obter vantagem competitiva. Essa ferramenta exige que as empresas estejam constantemente examinando o ambiente externo e utilizem essas informações para melhorias no processo. É uma ótima maneira de captar os avanços tecnológicos e adotá-los precocemente. (WERKEMA, 2012b; BESTERFIELD *et al*, 2012)

II.4.2.4. Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)

O Diagrama de Ishikawa, que também pode ser chamado de Diagrama de Causa e Efeito (C&E), Espinha de Peixe e 6M, é uma ferramenta de qualidade usada na Fase Analisar tanto para investigar um “efeito ruim”, e tomar medidas para corrigi-lo, quanto para analisar e aprender as causas de um “efeito bom”.

O diagrama é uma imagem com linhas e símbolos projetados para representar a relação entre os efeitos e suas causas (Figura 10). O efeito é a característica de qualidade que

precisa ser melhorada. É provável que cada efeito tenha várias causas. As causas podem ser divididas em seis “M”: máquina, materiais, mão-de-obra, meio ambiente, medida e método.

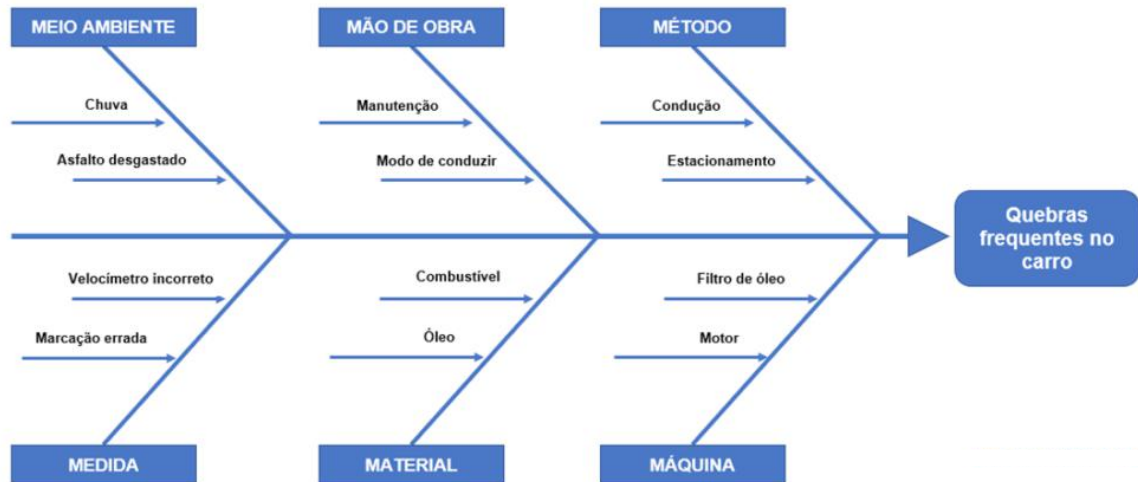
- Máquina: como o conjunto de equipamentos utilizados no processo influenciam o problema.
- Método: como os processos, procedimentos e métodos usados durante as atividades podem influenciar o problema.
- Mão-de-obra: como as pessoas envolvidas, direta ou indiretamente, no processo de manufatura influenciam a ocorrência do problema.
- Meio ambiente: como os ambientes internos ou externos à organização podem favorecer a ocorrência do problema.
- Material: matéria prima utilizada na produção do produto está dentro das especificações de qualidade?
- Medida: como as métricas utilizadas para medir, monitorar e controlar o processo podem influenciar o problema.

Essas causas principais podem ainda ser subdivididas em causas secundárias. As causas ficam do lado esquerdo do diagrama e o efeito do lado direito (BESTERFIELD *et al*, 2012).

A primeira etapa de construção do diagrama C&E é identificar o efeito ou problema que será tratado. Em seguida a equipe analisa as principais causas desse efeito nos eixos supra citados. Essa etapa é realizada utilizando a técnica e Brainstorming com a equipe. É importante a participação de todos e a criatividade de cada um nessa construção.

Uma vez que o diagrama está desenhado, é o momento de determinar as causas mais prováveis. Os membros da equipe podem escolher por votação as causas que serão tratadas. Os critérios utilizados nessa priorização podem ser custo, viabilidade, resistência a mudança, consequência, treinamento, entre outros. As soluções para os problemas são implementadas após a equipe entrar em um consenso sobre as causas a serem tratadas (BESTERFIELD *et al*, 2012).

FIGURA 10: DIAGRAMA DE ISHIKAWA



Fonte: Gestão Produtiva (2019)

II.4.2.5. Brainstorming

O *Brainstorming* é uma técnica de geração de ideias a partir do pensamento criativo que pode ser aplicada em diferentes fases DMAIC e em conjunto com ferramentas, como o Diagrama de Ishikawa, por exemplo. É necessário atenção à alguns aspectos para que o resultado seja mais preciso e aplicável (BESTERFIELD *et al*, 2012):

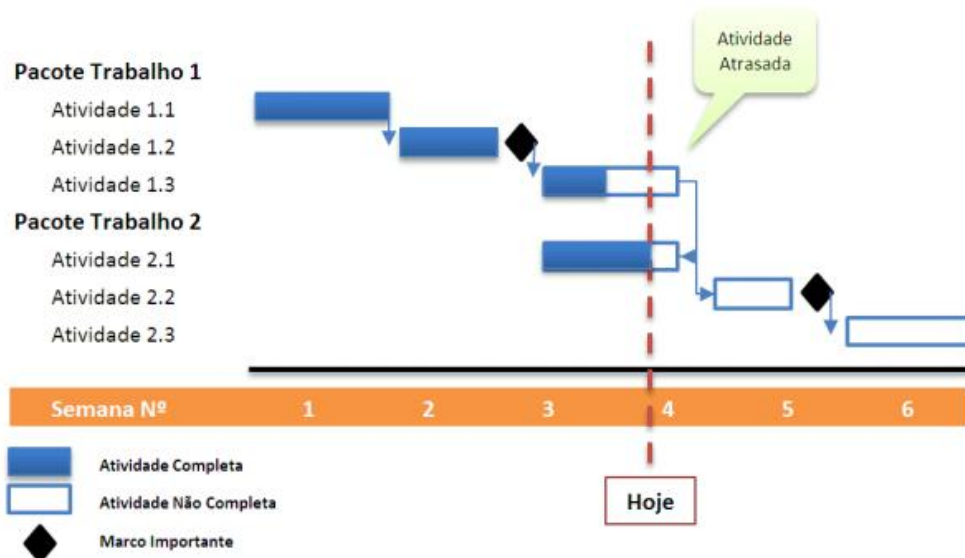
- Aspecto 1: é interessante criar uma roda de ideias para que todos exponham suas ideias e para evitar que alguns membros do time dominem o Brainstorming.
- Aspecto 2: o estímulo a quantidade de ideias deve ser maior do que a qualidade das ideias. Em um brainstorming não existe “ideia burra”. Uma ideia simples pode guiar o time para a melhor solução.
- Aspecto 3: não são permitidas críticas as ideias expostas. A troca de informações deve ser livre e criativa. Todas as ideias devem ser colocadas no diagrama. A avaliação das ideias é feita em uma etapa posterior.
- Aspecto 4: a equipe deve focar na resolução do problema e não discutir onde o problema começou. Perguntas como “Por que?”, “o que?”, “onde?”, “quando?”, “quem?” e “com que técnicas?” ajudam a guiar o raciocínio para a solução dos problemas.
- Aspecto 5: deixar as ideias serem amadurecidas por um período, que pode ser de um dia para o outro, para fazer um novo brainstorming. A técnica termina quando o tempo estipulado para o exercício chega ao fim ou quando nenhuma ideia nova é gerada. A

duração do processo criativo não deve ser muito longa para que este não se torne cansativo e improdutivo.

II.4.2.6. Diagrama de Gantt

O Diagrama de Gantt é um meio de descrever de maneira rápida e fácil as atividades de um processo. Esse diagrama possui uma infinidade de aplicações desde o controle do fluxo de produção até acompanhamento de cronogramas de projetos. As atividades são listadas na ordem de execução e gráficos de barra horizontais mostram o início, duração e término de cada atividade (Figura 11). O eixo vertical do gráfico identifica a atividade (máquina ou operador) e o horizontal define seu posicionamento no tempo. A aplicação de Gantt permite determinar as atividades que ocorrem em paralelo e as atividades críticas do processo (WILSON, 2012).

FIGURA 11: DIAGRAMA DE GANTT GENÉRICO



Fonte: PM2 ALL, 2011.

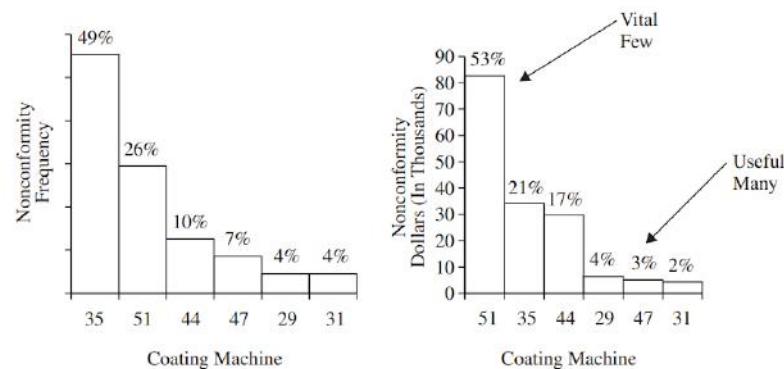
II.4.2.7. Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto é um gráfico que classifica os dados em categorias e em ordem decrescente da esquerda para a direita. O objetivo dessa ferramenta é a identificação dos problemas mais importantes, que se localizam à esquerda do gráfico e são chamadas de “pouco vitais” (“*vital few*”). Os problemas do lado direito são chamados de “muito úteis”

(“*useful many*”). O Princípio de Pareto, é conhecido como círculos de qualidade 80/20. É uma regra que afirma que 80% dos problemas de qualidade em uma organização são causados por 20% das causas (BESTERFIELD *et al*, 2012).

O Diagrama de Pareto é aplicável à identificação de problemas e à medição de progresso. Na Figura 12 se encontram dois exemplos desse diagrama. O primeiro ranqueia em porcentagem a frequência de máquinas de revestimento não conformes, e o segundo ranqueia a porcentagem em dólares que as máquinas de revestimento não conformes representam.

FIGURA 12: DIAGRAMA DE PARETO



Fonte: Besterfield (2012, p.332)

II.4.2.8. Matriz de Priorização

Essa ferramenta prioriza problemas, tarefas e características com base em critérios ponderados. As matrizes são utilizadas para reduzir as opções da equipe de forma racional antes da implementação detalhada do plano de ação. A equipe determina quais são os critérios mais importantes e qual peso de cada um. São exemplos de critérios: facilidade de implementação, resistência dos usuários, tecnologia disponível e baixo custo. Para cada opção deve ser calculada a pontuação de importância multiplicando a pontuação pelo peso dos critérios, os mais altos devem ser implementados primeiro, como exemplifica a Figura 13 (BESTERFIELD *et al*, 2012).

FIGURA 13: MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO

TABLE 14-1

Improve Shipping Efficiency Using the Consensus Criteria Method

Options	CRITERIA				Total
	Quick to Implement	Accepted by Users	Available Technology	Low Cost	
Train Operators	13(2.10) = 27.3	15(1.50) = 22.5	11(0.45) = 5.0	13(0.35) = 4.6	59.4
Train Supervisors	12(2.10) = 25.2	11(1.50) = 16.5	12(0.45) = 5.4	8(0.35) = 2.8	49.9
Use 3-person Teams	8(2.10) = 16.8	3(1.50) = 4.5	13(0.45) = 5.9	14(0.35) = 4.9	32.1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Purchase Fork-trucks	6(2.10) = 12.6	12(1.50) = 18	10(0.45) = 4.5	1(0.35) = 0.4	35.5

Fonte: Besterfield (2012, p.324)

II.5. Integração entre o *Lean* e o DMAIC

Segundo WERKEMA (2012b), a integração entre o *Lean Manufacturing* e o *Seis Sigma* se dá de forma natural. Uma empresa deve usufruir dos pontos fortes de ambas as estratégias para melhorar seus processos. O *Lean* não possui um método estruturado e profundo de solução de problemas, como o DMAIC, e nem ferramentas estatísticas para lidar com a variabilidade de processos que o *Seis Sigma* contempla. Já o *Seis Sigma* não tem como foco a redução do *lead time* e melhoria da velocidade dos processos, pontos fortes do *Lean Manufacturing*. A aplicação do *Lean Seis Sigma* torna a melhoria do desempenho mais abrangente e sustentável possível.

Essa integração pode do tipo *Lean Seis Sigma*, que utiliza as duas técnicas juntas para redução de desperdícios e redução de variabilidade de um processo (NANDAKUMAR *et al*, 2020; GULERIA *et al*, 2021), ou simplesmente a aplicação do *Lean* estruturado pela metodologia DMAIC (JORDON *et al*, 2019; MAHAJAN *et al*, 2019; DOSSOU *et al*, 2020).

II.6. Conceitos Básicos

- **Problema:** definido por WERKEMA (2012b) como um resultado indesejável de um processo ou uma oportunidade de melhoria detectada em um processo.
- **Processo e Operação:** processo foi definido por SHINGO (1989) como o curso pelo qual o material é transformado em produto. Isso consiste em quatro fenômenos: processamento, inspeção, transporte e estocagem. Já operação, foi definido como as ações realizadas no material pelas máquinas e operadores.

CAPÍTULO III- ESTUDO DE CASO

III.1. Estudo de Caso

MIRRIAM (1998, *apud* YAZAN, 2016) define caso como algum tipo de fenômeno que ocorre em um contexto limitado e que apresenta os seguintes atributos:

- Particular: focaliza em uma situação singular, evento, programa ou fenômeno.
- Descritivo: produz uma rica e sólida descrição do fenômeno em estudo.
- Heurístico: ilumina a compreensão do leitor a respeito do fenômeno em estudo.

O método de pesquisa utilizado nesse trabalho foi estudo de caso com propósito descritivo. Desta forma, o foco do estudo de caso único⁹ desenvolvido é a implementação da metodologia *Lean Manufacturing* aliada a estrutura DMAIC em uma indústria pneumática, especificamente em uma dimensão de pneu agrícola, denominada AGRO S.

A coleta de dados e o acompanhamento do andamento do caso em estudo foram realizados por meio de dados históricos da empresa, visitas de campo, observações, entrevistas e reuniões com os envolvidos na implementação da metodologia. Em paralelo foi realizada uma pesquisa bibliográfica detalhada em artigos, teses, livros que contenham informações sobre o tema abordado, e consultas à base de dados científicos Science Direct.

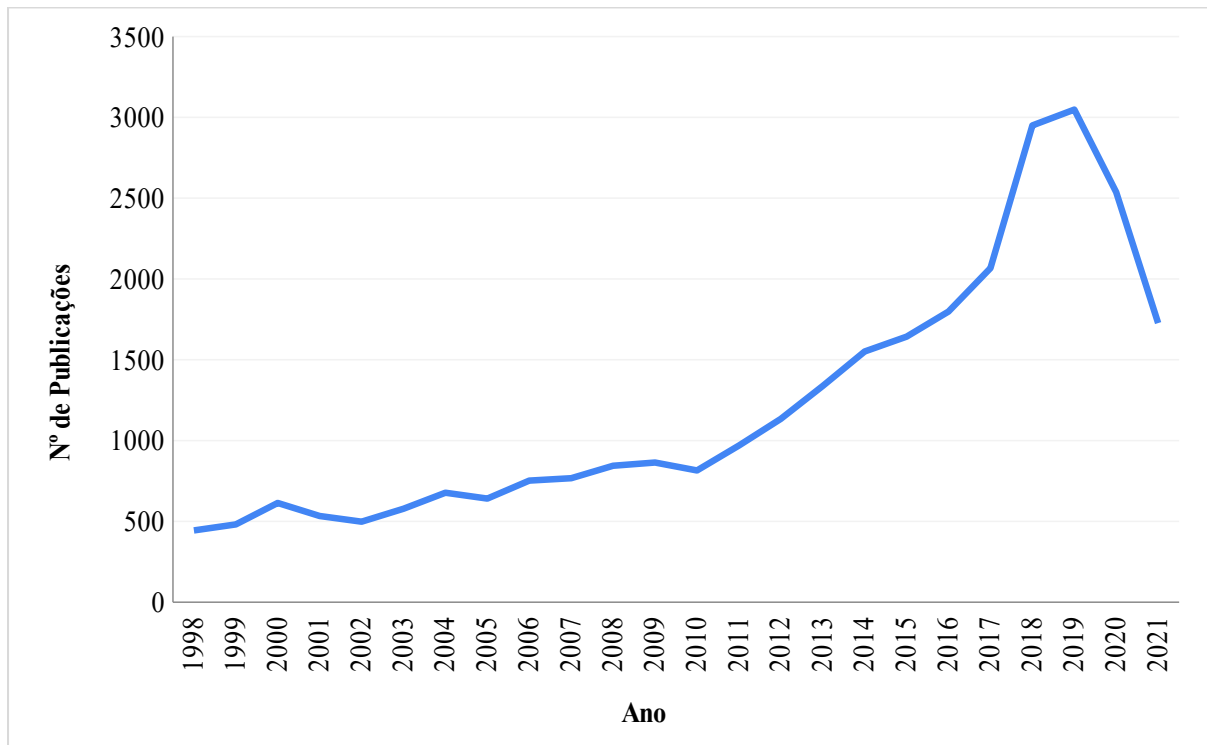
Os dados numéricos fornecidos pela empresa, assim como os nomes de produtos e máquinas, apresentados ao longo desse trabalho foram descaracterizados para manter a confidencialidade.

III.1.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento desse estudo foi realizado inicialmente um levantamento abrangente de documentos publicados na plataforma Science Direct com o termo “*Lean Manufacturing*”, sem utilizar filtro por período. Ao todo foram encontrados 35107 resultados. Os artigos foram classificados por relevância.

A escolha da base se deve a possibilidade de encontrar uma distribuição maior de tipos de documentos tais como artigos de revisão, capítulos de livros, artigos de pesquisas, relato de casos, entre outros. A seguir são apresentados os resultados obtidos na pesquisa (Figura 14).

⁹ A pesquisa pelo método de estudo de caso único é realizada pela coleta de dados e análise de apenas uma empresa/caso.

FIGURA 14: DOCUMENTOS POR ANO

Fonte: elaboração própria a partir de dados do Science Direct

A Figura 15 mostra que o início de crescimento significativo no número de documentos publicados se deu em 2010 e o pico de publicações em 2019, com um total de 3048 neste ano.

Uma pesquisa mais direcionada ao tema Mapeamento do Fluxo de Valor foi realizada utilizando as palavras “*Value Stream Mapping*”, no período de 2010 a 2021, e filtrando por maior relevância. Foram encontrados ao todo 57488 publicações.

Publicações relacionadas as metodologias *Lean* e DMAIC também foram pesquisadas utilizando as palavras “*Lean and DMAIC*”, filtradas por maior relevância e sem especificar o período. Ao todo foram encontradas 529 publicações.

Os resultados das pesquisas indicam que o *Lean Manufacturing* é um assunto relevante e amplamente estudado, porém o número baixo de trabalhos sobre o *Lean* em conjunto com o DMAIC indica que esse assunto precisa ser mais explorado.

III.2. Contexto Da Empresa

O Grupo de Indústrias Pneumáticas onde esse estudo foi desenvolvido possui filiais em diferentes continentes. Uma filial estrangeira responsável pela maior parte do volume de

produção da dimensão que será objeto desse estudo, denominada AGRO S, apresentou problemas em sua unidade de produção, comprometendo a qualidade do pneu e gerando insatisfação do cliente. Alguns pneus apresentaram descolamento da banda de rodagem, o que forçou a empresa a tomar ações mais duras para garantir a integridade do cliente e de seus utilizadores. O Grupo decidiu descontinuar por tempo indeterminado a produção dos pneus desta dimensão na filial estrangeira até que o problema fosse identificado e resolvido.

Para não perder participação de mercado, o volume de produção foi transferido para a filial brasileira, que possui um processo de produção totalmente diferente da fábrica estrangeira, garantido que o problema com a banda de rodagem não ocorra também no Brasil. Porém, esta não era capaz de atender o volume requerido pelo cliente. Isso motivou a realização de um estudo de aumento de capacidade na fábrica brasileira, especificamente na dimensão AGRO S, utilizando a metodologia *Lean-DMAIC*, com foco na redução de desperdícios.

III.3. Processo de Fabricação de Pneus

Esse projeto foi realizado em uma indústria pneumática responsável por fabricar pneus para maquinário agrícola (Figura 15), de construção e mineração. O processo de fabricação dos pneus pode ser dividido em três grandes setores: Preparação de matéria prima, Confeção e Vulcanização.

FIGURA 15: TRATOR AGRÍCOLA



Fonte: John Deere (2020)

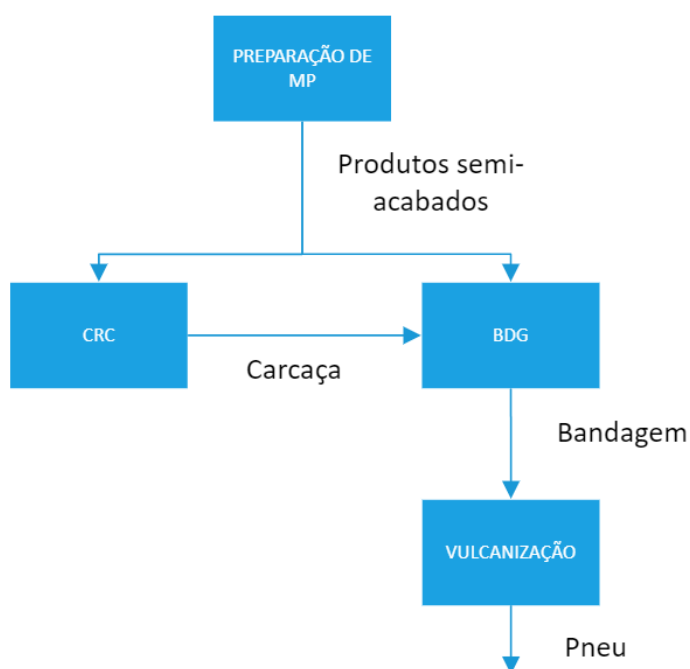
O setor Preparação de Matéria Prima recebe as matérias primas e as transforma em produtos semiacabados que serão consumidos no próximo setor, de Confeção (Figura 16). A

necessidade de fabricação dos produtos na Preparação de MP é regida por um Sistema de *Kanban*.

Na Confecção, parte dos semiacabados são empilhados em uma máquina, que chamaremos de CRC, de acordo com as folhas de especificações de cada tipo de pneu, para dar origem ao primeiro produto intermediário, chamado carcaça. A carcaça, ainda no setor de Confecção, passa por uma segunda máquina, denominada BDG, que recebe a outra parte dos produtos semiacabados e a banda de rodagem, dando origem ao segundo produto intermediário chamado de bandagem. Entre a CRC e a BDG funciona um sistema de FIFO de 2 a 3 carcaças, dependendo da dimensão. Ao todo são quatorze CRC e quatorze BDG, que são operadas em pares e numeradas de 1 a 14, ou seja, o produto da CRC 1 vai para a BDG 1, o da CRC 2 vai para a BDG 2, e assim por diante.

A bandagem por fim é enviada ao setor de Vulcanização para ser cozida e dar origem ao pneu.

FIGURA 16: FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PNEU



Fonte: elaboração própria.

Esse estudo foi desenvolvido no setor de Confecção, em um grupo de máquinas voltado para fabricação de pneus agrícolas, chamado de Grupo 1. Esse grupo estava totalmente dedicado a produção da dimensão R46 AGRO S, que será o foco desse estudo.

O setor de Confeção opera em 4 equipes, que se revezavam em 3 turnos de 8 horas para cobrir as 24 horas do dia, todos os dias do mês.

III.4. Aplicação da Metodologia *Lean* - DMAIC

Esse estudo foi realizado utilizando a metodologia *Lean Manufacturing* estruturada nas etapas do DMAIC objetivando a redução dos tempos de ciclo e o aumento do OEE de máquinas de fabricação de pneus para atender a demanda do cliente.

Uma equipe multidisciplinar, que envolve um líder da engenharia, um técnico de qualidade, um mecânico, um responsável de produção, o chefe de fabricação, um representante de segurança, um representante de ergonomia, um formador e dois operadores, foi designada para a realização do estudo.

Reuniões quinzenais de equipe foram realizadas para alinhar o que já havia sido concluído e programar os próximos passos. Ao final de cada fase DMAIC a equipe se reunia para compartilhar os resultados.

III.4.1. DESENVOLVIMENTO DA FASE DEFINIR

Na fase inicial do projeto a equipe levantou as boas questões para identificar os clientes e suas necessidades, traçar os resultados esperados, definir os recursos necessários e formular os problemas e objetivos. Para isso, três ferramentas foram aplicadas: VOC, Benchmark e SIPOC.

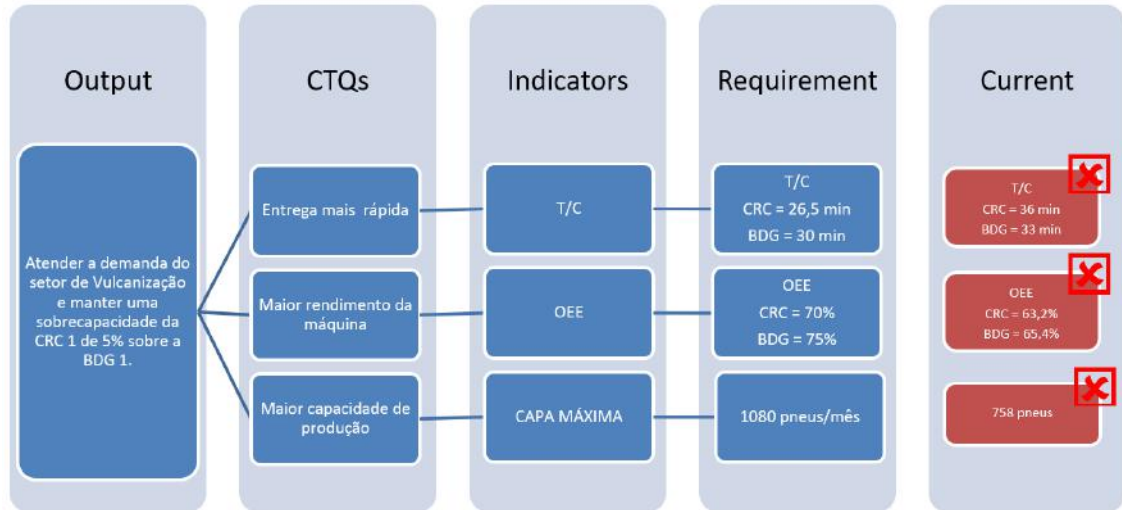
Ao final da Fase D, um contrato de projeto foi elaborado, compartilhado com a equipe do projeto e validado pelos gestores.

III.4.1.1. Aplicação da Ferramenta Voz do Cliente

O VOC foi realizado baseado nas diretrizes fornecidas pelo setor de planejamento de produção da Usina, que detém as informações de demanda e expectativas dos clientes externos e a visão da capacidade do cliente interno, que é o setor de Vulcanização. Uma reunião foi realizada com a equipe de planejamento para ouvir suas necessidades e expectativas em relação ao estudo. A partir das informações coletadas uma árvore de CTQs foi criada (Figura 17) com o objetivo de priorizar e melhor atender as necessidades do cliente

externo e a demanda do cliente interno, que possui maior capacidade que o setor de Confeção.

FIGURA 17: VOZ DO CLIENTE



Fonte: elaboração própria.

A árvore aponta os três principais critérios de qualidade definidos que não atendem à demanda do cliente: tempo de ciclo (T/C), performance de máquina (OEE) e, consequentemente, capacidade de produção.

Os objetivos acordados com a equipe de planejamento se encontram na quarta coluna e são redução de tempo de ciclo e aumento de performance de máquina para alcançar uma capacidade máxima teórica de produção mensal de 1080 pneus.

III.4.1.2. Aplicação do Benchmark

O *Benchmark* foi realizado internamente, comparando a performance das máquinas em estudo com as da usina estrangeira que produz a dimensão AGRO S. Porém, a equipe chegou à conclusão que a usina estrangeira não poderia ser utilizada como benchmark pois os processos de fabricação não são similares. As máquinas tinham tecnologias diferentes portanto os tempos de ciclo e os dados de performance não eram comparáveis.

A alternativa foi buscar os dados do projeto de implementação do pneu AGRO S no Brasil e comparar com o momento atual, para identificar se houve uma melhora ou degradação do processo (Tabela 3).

TABELA 3: BENCHMARK

	CRC 1		BDG 1	
	Tempo de Ciclo (min)	OEE	Tempo de Ciclo (min)	OEE
Atual	36	63,2%	33	65,4%
Projeto Industrializaçã o	30	69,3%	37	74,2%

Fonte: elaboração própria.

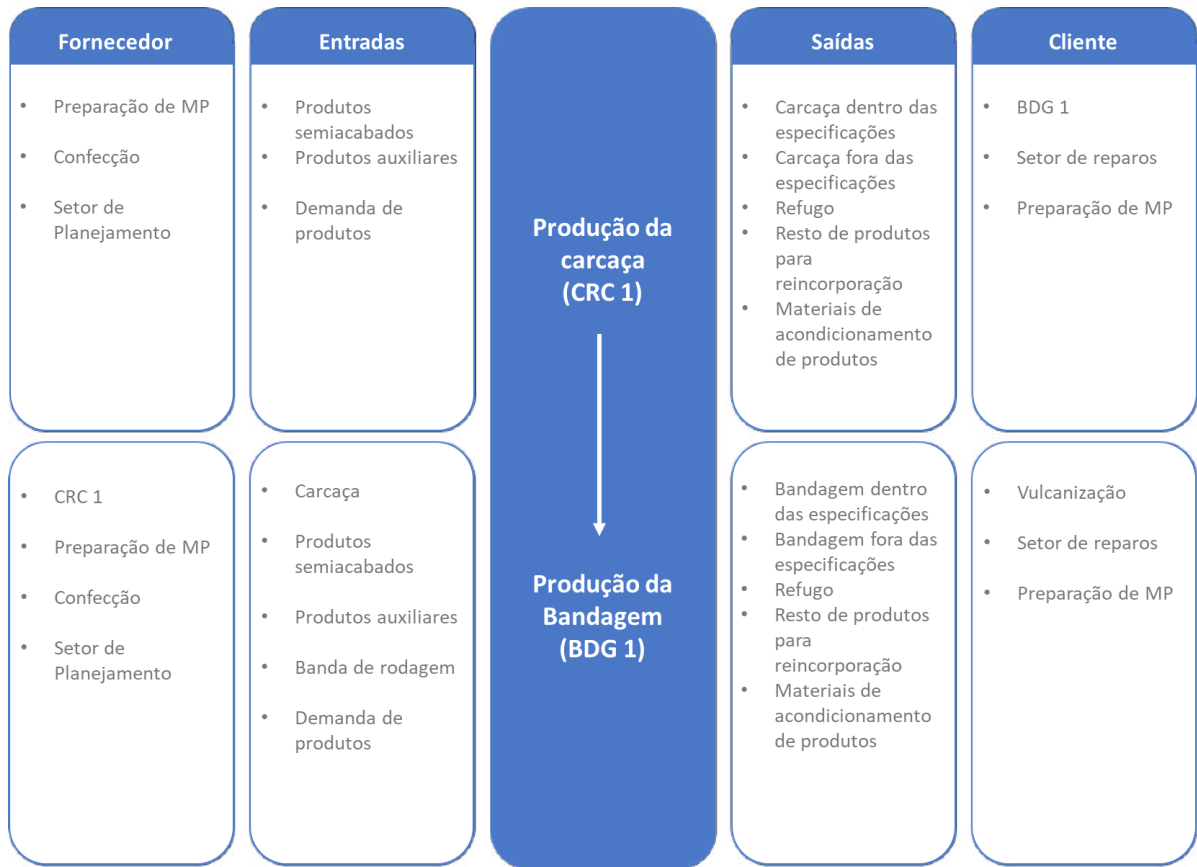
É possível notar na tabela que os dados de performance de máquina (OEE) da época em que a dimensão foi industrializada no Brasil é superior a performance atual e próxima da performance necessária para atender a demanda do cliente acordada com a equipe de planejamento. Isso indica que a meta do estudo atual é alcançável.

Em relação aos dados de tempo de ciclo, a CRC teve uma degradação de 20% em relação ao tempo do projeto de industrialização, e a BDG teve uma melhora de 11%. As metas desse estudo para a CRC se mostram bem desafiadoras mesmo se compararmos com o tempo de projeto.

III.4.1.3. Aplicação do SIPOC

A equipe construiu o SIPOC através de um *brainstorming*, conforme descrito na metodologia - que foi conduzido como uma roda de ideias em que cada membro apresentava sua sugestão e passava para o próximo, garantindo que todos participassem da construção.

O ponto de partida foi a CRC 1, que tem como processo principal a produção da carcaça (Figura 18). Em seguida, foram identificadas as entradas desse processo e seus respectivos fornecedores, internos e externos. O próximo passo foi identificar as saídas e seus respectivos clientes. O principal cliente da fabricação da carcaça é o segundo principal processo do estudo, a produção da bandagem. Seguindo o mesmo princípio, foram identificados as entradas, fornecedores, saídas e clientes, nessa ordem.

FIGURA 18: SIPOC DO ESTUDO

Fonte: elaboração própria.

Como pode ser visto na figura acima, existem dois processos principais na Confecção, a fabricação da carcaça, que neste estudo ocorre no CRC 1 e tem como principal cliente o BDG 1, e a confecção da bandagem, que ocorre no BDG 1 e tem como principal cliente a Vulcanização. A Preparação de MP e o Setor de Reparos também são clientes dos processos de produção de carcaças e bandagens. A Preparação de MP recebe os materiais de acondicionamento e os produtos para reincorporação, e o Setor de Reparos recebe carcaças e/ou bandagens com eventuais problemas de qualidade. O perímetro do estudo delimitado pelo SIPOC são as máquinas são os processos produção de carcaça (CRC 1) e produção de bandagem (BDG 1).

III.4.1.4. Contrato de Projeto

A partir do levantamento de dados histórico de OEE e T/C da dimensão AGRO S, concluiu-se que o setor de Confecção é o setor gargalo da usina, portanto, o contrato de

projeto foi idealizado com foco em ganho de capacidade no grupo de máquinas da Confecção responsável pela produção dessa dimensão, denominado Grupo 1.

O principal entregável do estudo é o aumento de capacidade da Confecção de 758 pneus/mês para 1080 pneus/mês, garantindo uma sobre capacidade da CRC 1 de 5% em relação a BDG 1.

Os objetivos do estudo firmados no contrato se encontram na Tabela 4.

TABELA 4: OBJETIVOS DO ESTUDO

	CRC 1		BDG 1	
	Tempo de Ciclo (min)	OEE	Tempo de Ciclo (min)	OEE
Atual	36	63,2%	33	65,4%
Objetivo	26,5	70%	30	75%

Fonte: elaboração própria.

O contrato de projeto foi alinhado aos objetivos da Usina e validado junto aos líderes do time de gestão.

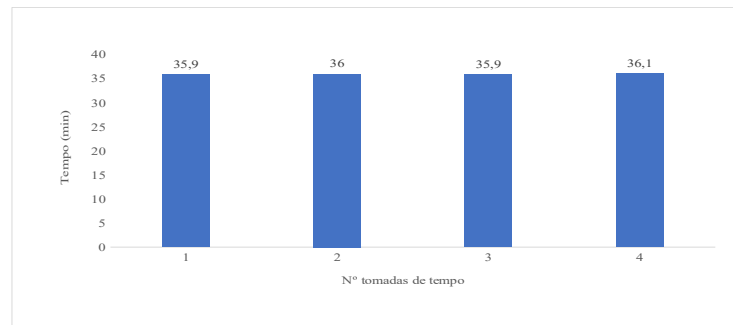
III.4.2. DESENVOLVIMENTO DA FASE MEDIR

Na Fase M, foram realizadas coletas de dados de tempo de ciclo e OEE para determinar de forma mais precisa a situação do estado atual do processo. Esses dados foram utilizados para determinar a diferença entre o estado atual, o benchmark e o objetivo traçado, e para montar o mapa do fluxo atual.

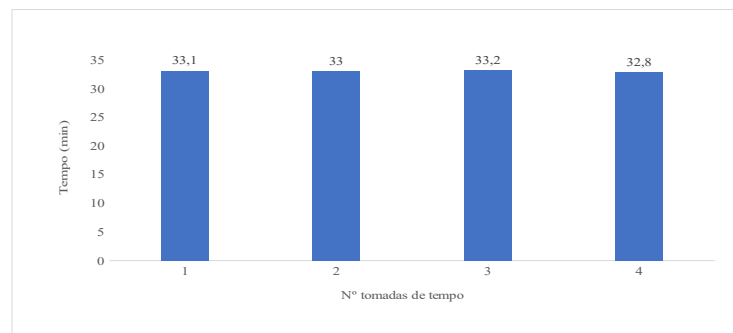
III.4.2.1. Coleta de Dados

a) Tempo de Ciclo

Através de sucessivas tomadas de tempo com auxílio de um cronômetro, o tempo de fabricação de uma carcaça e de uma bandagem foram determinados (Figuras 19 e 20).

FIGURA 19: TOMADAS DE TEMPO CRC 1

Fonte: elaboração própria.

FIGURA 20: TOMADAS DE TEMPO BDG 1

Fonte: elaboração própria.

Após as tomadas de tempo, ficou confirmado que os dados históricos de tempos de ciclo de ambas as máquinas utilizados na Fase D ainda representam a realidade do processo.

b) Taxa de performance de máquina (OEE)

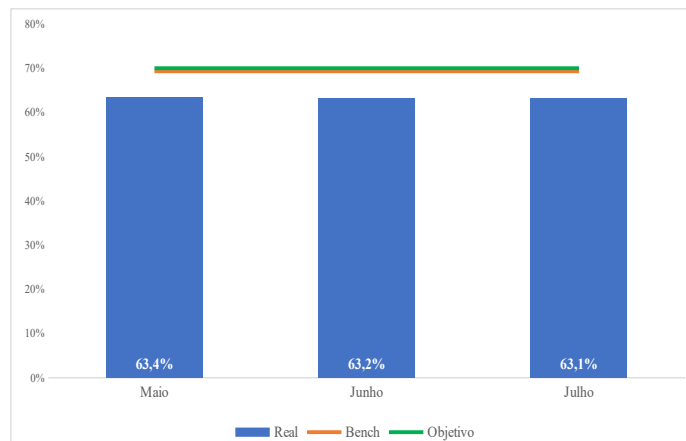
A engenharia industrial é responsável pelo acompanhamento dos dados de performance das máquinas de toda fábrica. Todos os dias a equipe de engenharia coleta os dados de OEE do dia anterior e faz análises de performance para os setores, apontando as máquinas com menor performance e suas maiores perdas. Essa análise auxilia na priorização dos problemas que serão tratados no dia.

Esses dados são armazenados em banco de dados para manter o histórico de performance de todas as máquinas desde a partida da fábrica. O histórico de OEE dos três meses anteriores ao início do estudo foram recuperados e plotados em gráficos (Figuras 21 e 22).

Essa taxa se assemelha ao OEE apresentado na revisão bibliográfica, porém não leva em consideração a porcentagem de produtos defeituosos. O OEE na usina em estudo é calculado seguindo a equação abaixo:

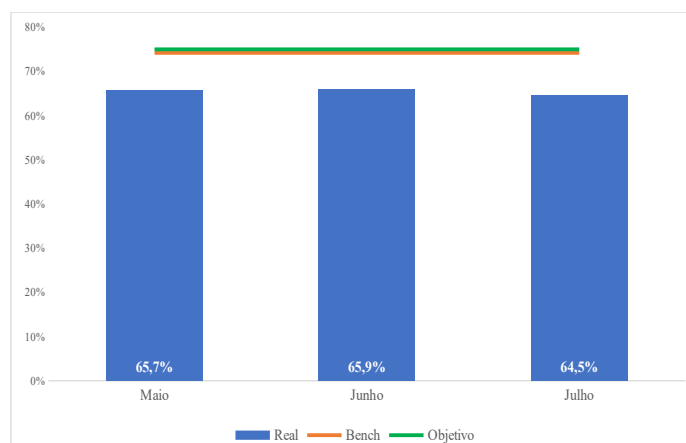
$$OEE = \frac{n^{\circ} \text{ produtos} \times T/C}{\text{Tempo de abertura} - \text{pausas contratuais}}.$$

FIGURA 21: HISTÓRICO OEE CRC 1



Fonte: elaboração própria.

FIGURA 22: HISTÓRICO OEE BDG 1



Fonte: elaboração própria.

A média do histórico de OEE dos três últimos meses confirma os dados de OEE da Fase D tanto da CRC 1 quanto da BDG 1.

A capacidade diária foi calculada a partir dos dados de tempo de ciclo (T/C) e OEE seguindo a seguinte equação:

$$CAPA = \frac{\text{Tempo de abertura} \times OEE}{T/C}$$

Esse cálculo foi utilizado para determinar com mais precisão a máquina gargalo do Grupo 1 e determinar os dados de partida do projeto, que traduzem a situação inicial do estudo. A consolidação dos dados coletados se encontra na tabela abaixo (Tabela 5).

TABELA 5: CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

	Tempo de Ciclo (min)	OEE	Capacidade/dia (unid.)	
CRC 1	36	63,2%	25,3	Gargalo!
BDG 1	33	65,4%	28,5	

Fonte: elaboração própria

III.4.2.2. Construção do Mapa da Situação Atual

Com os dados de tempo de ciclo e performance das máquinas previamente coletados e os tempos de estocagem dos produtos entrantes recuperados dos sistemas da fábrica, a equipe mapeou os dois processos-chave encontrados no SIPOC, produção de carcaça e produção de bandagem. O objetivo era conhecer mais profundamente o fluxo material de cada processo e destacar os problemas presentes em cada etapa do processo.

O Mapeamento do Fluxo de Valor foi realizado em formato de workshop de um dia e meio de duração com a participação de todos os membros da equipe. O mapa foi construído utilizando etiquetas padrão para cada tipo de etapa do processo. Essas etiquetas foram coladas em uma grande cartolina presa à parede na ordem das etapas de fabricação do produto conforme Figura 23.

FIGURA 23: MAPEAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL



Fonte: elaboração própria.

Durante a construção do mapa, discrepâncias entre o fluxo real e o teórico foram levantadas e escritas em post-its. Cada post-it foi colado no mapa na etapa de produção correspondente. Sugestões de oportunidades de melhorias que surgiram durante a construção do mapa também foram colocadas no mapa dentro das etiquetas no espaço destinado às observações.

Esse mapa foi utilizado na dinâmica VA/NVA para determinar o percentual de tempo de atividades com valor agregado e sem valor agregado.

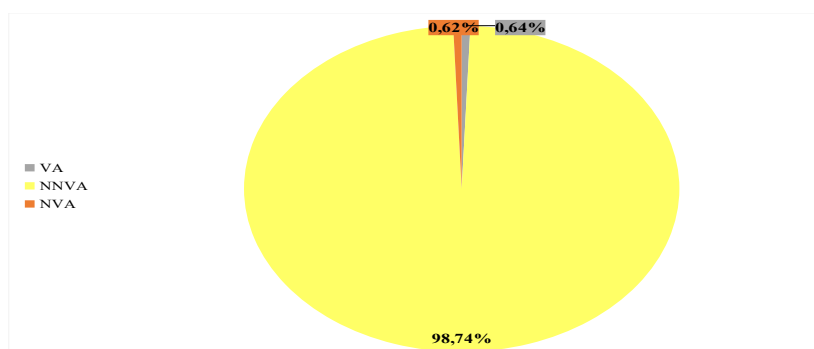
III.4.2.3. Dinâmica VA / NVA

A classificação das etapas do processo de acordo com o valor que cada uma têm para o cliente foi realizada em forma de dinâmica logo após a construção do VSM, denominada Dinâmica VA/NVA.

Cada membro da equipe recebeu uma cartela com diversos adesivos verdes, vermelhos e amarelos. Os adesivos verdes indicam uma etapa que agrega valor, os amarelos indicam etapas que não agregam valor mas são necessárias, e os vermelhos são destinados a etapas sem valor agregado algum. Os membros da equipe se espalharam pelo mapa e classificaram as etapas da situação atual do processo com os adesivos. Para tornar a classificação mais fácil, o time de projeto se guiou pela seguinte questão: “O cliente está disposto a pagar por esta atividade?”. Se sim é VA, senão é NVA ou NNVA.

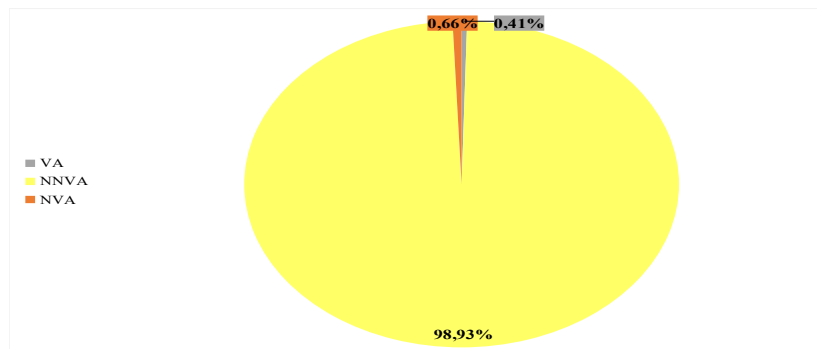
Essa dinâmica tem a finalidade de determinar a porcentagem de tempo de cada tipo de atividades VA, NVA e NNVA, e ressaltar onde ocorrem os desperdícios no processo. O resumo dos resultados dessa etapa está nas Figuras 24 e 25.

FIGURA 24: GRÁFICO VA/NVA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA CARÇA



Fonte: elaboração própria.

FIGURA 25: GRÁFICO VA/NVA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BANDAGEM



Fonte: elaboração própria.

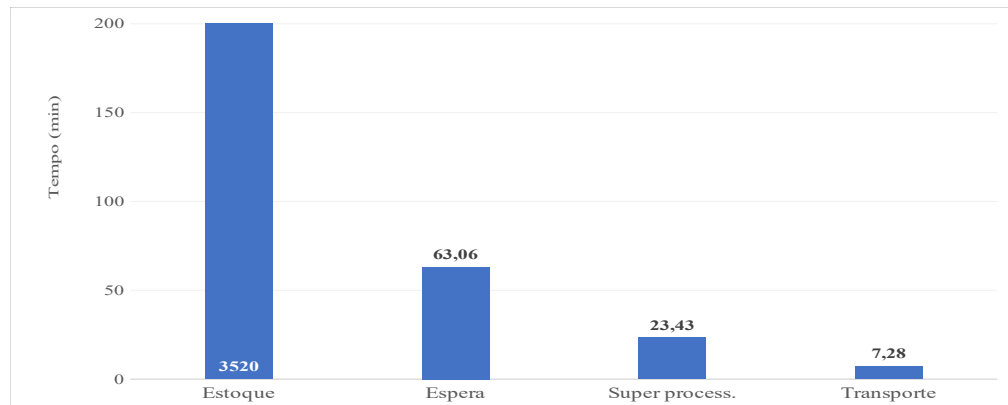
Os gráficos acima mostram um percentual de não valor agregado necessário muito próximo de 100%, isso se deve aos estoques de produtos semiacabados, que possuem um tempo muito maior que o tempo de ciclo das máquinas. Esses estoques não possuem valor agregado, porém são necessários para manter o bom funcionamento da linha de produção e por isso foram classificados com NNVA.

III.4.2.4. Identificação de Desperdícios e Priorização de Problemas

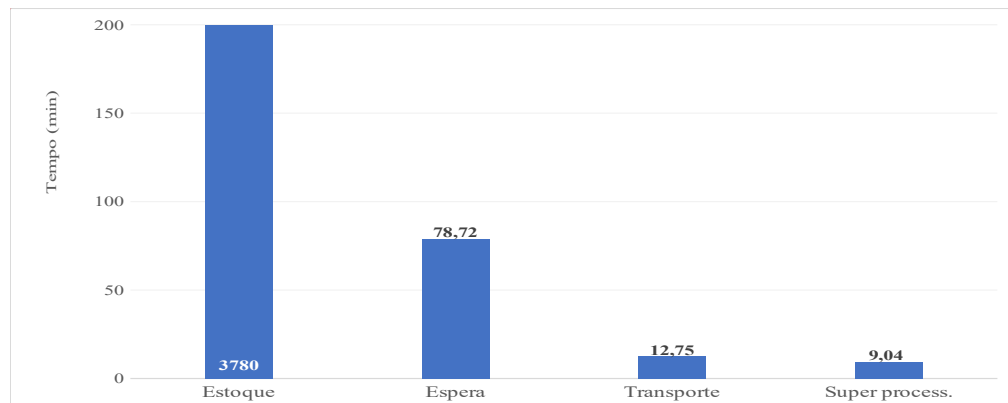
Para identificar os desperdícios que ocorrem no processo de produção mapeado, a equipe se dirigiu para o Grupo 1 de máquinas, com post-its em mãos para anotar todo tipo de desperdício encontrado, onde eles ocorrem, tempo estimado, se impacta ou não a ergonomia do operador, se tem impacto na qualidade do produto, entre outras questões. A equipe acompanhou a fabricação de uma carcaça e uma bandagem.

Em seguida, os post-its com as observações foram colados no VSM nas etapas onde os desperdícios ocorriam. Ao todo, mais de 40 desperdícios foram encontrados. Seus tempos foram contabilizados para que na etapa seguinte fosse feita a priorização.

A equipe reuniu as oportunidades levantadas na construção do mapa e nas dinâmicas VA/NVA e Caça aos desperdícios com as oportunidades encontradas anteriormente, nas observações nos postos de trabalho e nos históricos de perdas de OEE, em Gráficos de Pareto (Figuras 26 e 27)

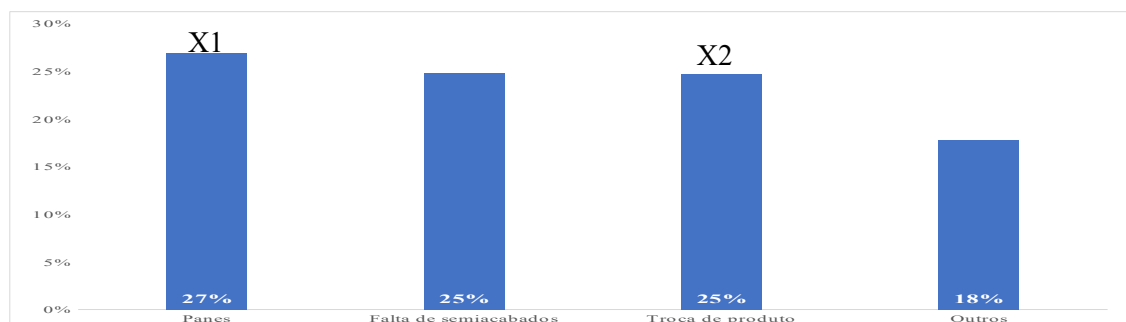
FIGURA 26: DIAGRAMA DE PARETO DOS DESPERDÍCIOS ENCONTRADOS NA CRC 1

Fonte: elaboração própria.

FIGURA 27: DIAGRAMA DE PARETO DOS DESPERDÍCIOS ENCONTRADOS NA BDG 1

Fonte: elaboração própria.

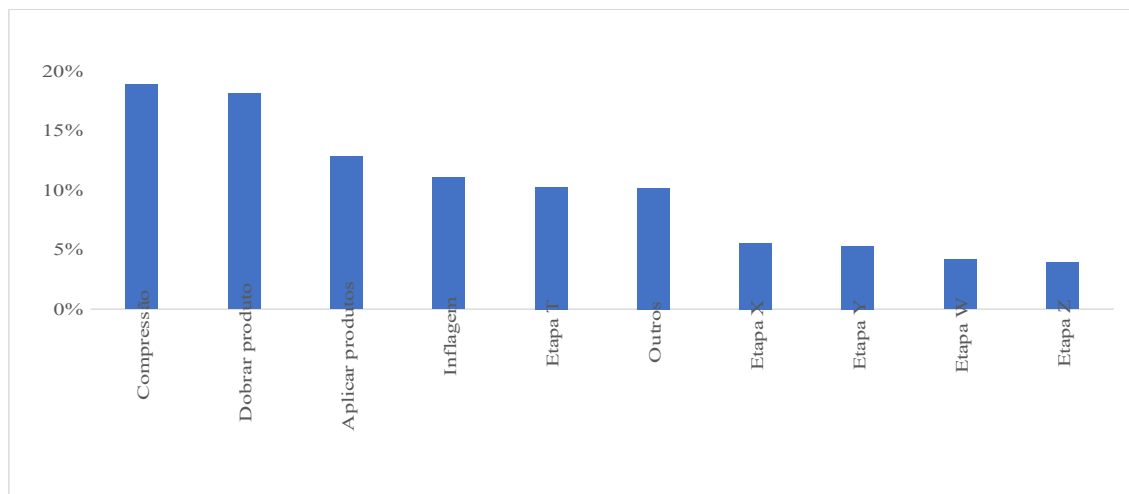
Os dois principais desperdícios do Pareto da CRC 1 deram origem a dois novos gráficos de Pareto (Figura 30 e 31). Note que o desperdício Estoque não será analisado dado que ele é resultado de um cálculo de *Kanban* e representa o bom número para manter o processo, ou seja, o tempo de estoque representado nos Gráficos de Pareto não são ociosos.

FIGURA 28: EXPLOSÃO DOS DESPERDÍCIOS ESPERA DA CRC 1

Fonte: elaboração própria.

No Gráfico acima, o segundo maior problema é a falta de produtos fornecidos pela Preparação de MP. Porém esse setor está fora do perímetro do estudo, portando, não analisaremos esse problema.

FIGURA 29: EXPLOÇÃO DOS DESPERDÍCIOS SUPER PROCESSAMENTO DA CRC 1



Fonte: elaboração própria.

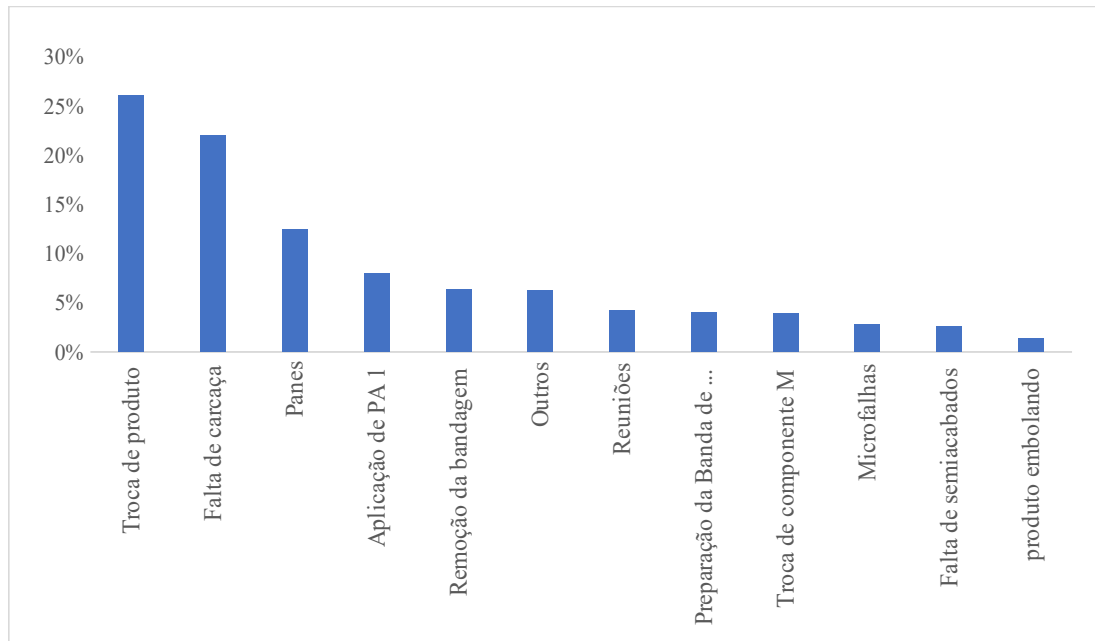
Foram escolhidos quatro principais problemas do Pareto para serem analisados e solucionados originados na CRC 1, chamados de X potenciais pela equipe. Eles estão sinalizados nos gráficos (Figura 28 e 29) de X1 a X4.

Otimizações rápidas identificadas ao longo do processo de priorização foram imediatamente realizados para dar agilidade à resolução de problemas em que a causa raiz já era conhecida. Eles são sinalizados nos Gráficos de Pareto como QW (*quick wins*).

No gráfico de perdas de super processamento, algumas etapas do processo receberam nomes genéricos (etapa X, etapa Y...) a fim de manter a segurança das informações industriais. Essas etapas não serão exploradas na análise, portanto não representam perda significativa de informação.

Assim como na CRC 1, os dois principais desperdícios do Pareto da BDG 1 (Figura 29) deram origem a dois novos gráficos de Pareto (Figuras 30 e 31). O desperdício Estoque também não será analisado pelo mesmo motivo apresentado no gráfico da CRC 1.

FIGURA 30: EXPLOSÃO DO DESPERDÍCIO ESPERA DA BDG 1 EM UM NOVO DIAGRAMA DE PARETO



Fonte: elaboração própria.

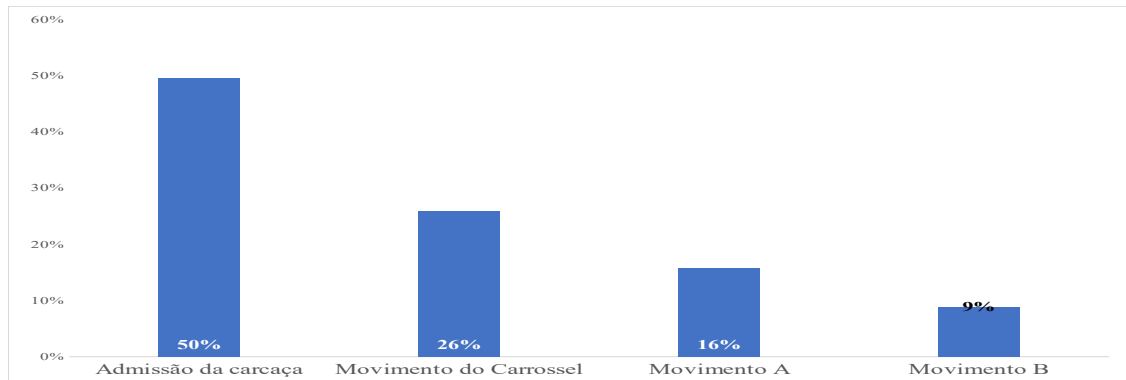
Notem que, diferente da CRC 1 em que os problemas selecionados estavam nos topos do Pareto, na BDG 1, devido a maior complexidade do processo, os problemas (X5 e X6) foram escolhidos utilizando uma tabela de priorização (Tabela 6) que utiliza os seguintes pesos: custo, tempo de implantação, ganho de desempenho e satisfação operacional. A escala varia de 1 a 5 sendo: 1 mais desfavorável e 5 mais favorável.

TABELA 6: TABELA DE PRIORIZAÇÃO DO DESPERDÍCIO ESPERA DA BDG 1

Desperdícios	Critério	Custo inicial	Tempo de implementação	Ganho em Performance	Satisfação Operacional	Total Score	Ranking	Coment.
	Peso	25%	25%	25%	25%	100%		
Falta de carcaça		5	5	5	5	5,00	1	Reduzirá com a otimização da CRC 1
Remoção da bandagem		5	5	3	5	4,50	2	X5
Preparação da Banda de rodagem		5	5	3	5	4,50	2	X6
Microfalhas		5	5	2	5	4,25	4	QW
Falta de semiacabados		5	5	2	5	4,25	4	Ação aberta na Prep. MP
Panes		5	4	2	5	4,00	6	QW
Produto embolando		5	5	1	5	4,00	6	
Troca de produto		1	1	5	5	3,00	8	
Outros		5	1	2	3	2,75	9	
Reuniões		5	1	2	2	2,50	10	
Aplicação de PA 1		1	1	2	5	2,25	11	
Troca de componente M		1	1	2	4	2,00	12	

Fonte: elaboração própria.

FIGURA 31: EXPLOSÃO DO DESPERDÍCIO TRANSPORTE DA BDG 1 EM UM NOVO DIAGRAMA DE PARETO



Fonte: elaboração própria.

No gráfico acima, a etapa “admissão da carcaça” é o topo do Pareto. Porém, a equipe decidiu não solucioná-la, porque requer um grande investimento em automação.

Foram identificados 7 problemas principais na tabela de priorização que serão levados para a fase de análise:

- X1 - Panes recorrentes (CRC – Espera)
- X2 – Troca de produto têxtil (CRC – Espera)
- X3 – Etapa “dobrar produto” muito longa (CRC – Super processamento)
- X4 – Aplicação dos produtos lenta (CRC – Super processamento)
- X5 – Remoção da bandagem demorada (BDG – Espera)
- X6 – Preparação da banda de rodagem (BDG – Espera)
- X7 - Circuito longo do Carrossel (BDG – Transporte)

III.4.3. DESENVOLVIMENTO DA FASE ANALISAR

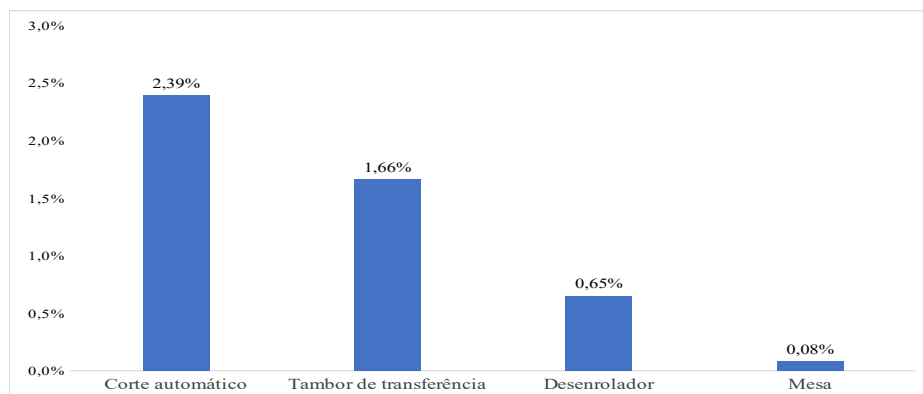
Depois de identificar os problemas e desperdícios, é necessário saber por que e como ocorrem. A aplicação de ferramentas como Diagrama de Gantt, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa e 5Porquês, permite a determinação das causas raízes dos problemas e contribui para que a solução seja sustentável ao longo do tempo.

Para cada ferramenta aplicada, a equipe simulou o ganho em OEE ou tempo de ciclo que a solução do problema proporciona e consolidou-os em gráficos de cascata. Essa simulação permite que a equipe faça uma estimativa global dos ganhos e compare com os objetivos do projeto.

III.4.3.1. Aplicação do Diagrama de Pareto - X1

O Diagrama de Pareto foi utilizado para ranquear as partes mecânicas com maior incidência de panes, micro falhas e embolos de produto na CRC 1 (Figura 32), sinalizadas nos lançamentos de perdas de OEE pelos operadores. A equipe decidiu analisar mais de perto as duas maiores perdas do diagrama. Para isso, um acompanhamento de oitos horas foi realizado na CRC 1 com os objetivos de verificar a veracidade dos dados e identificar as causas raízes das falhas.

FIGURA 32: PARETO DE PERDAS POR PANES CRC 1



Fonte: elaboração própria.

As maiores perdas estão no corte automático e no tambor de transferência, equipamentos pelos quais os produtos Perfilado A e Perfilado B passam. A causa raiz dessas perdas foi observada nos acompanhamentos de campo e são: Produto A descentralizado na bobina e Produto B muito próximo das extremidades da bobina. O ganho estimado devido a resolução do X1 é um aumento de 1,5% no OEE da CRC 1.

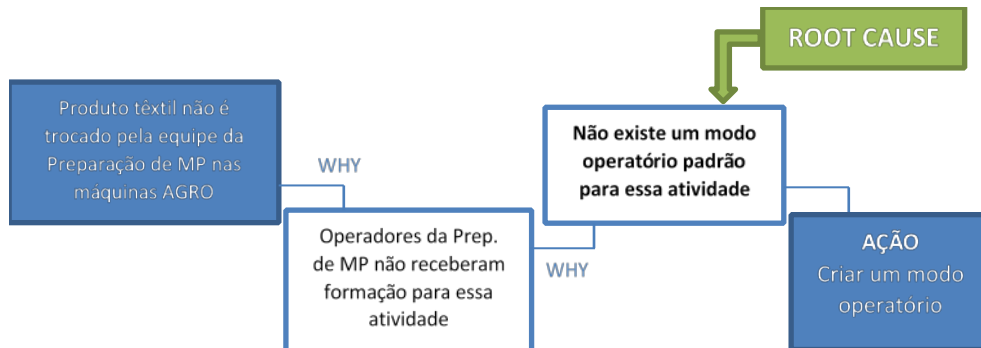
III.4.3.2. Aplicação dos Cinco Porquês – X2 e X5

A ferramenta 5 Porquês foi utilizada em dois dos sete problemas escolhidos. Essa ferramenta se aplica bem a problemas mais simples em que a causa raiz não depende de muitos fatores.

A equipe aplicou a ferramenta exatamente como Ohno explicou em seu livro, perguntando “Por que?” sucessivamente até chegar à causa raiz do problema.

a) Cinco Porquês – X2

FIGURA 33: 5 PORQUES DO X2

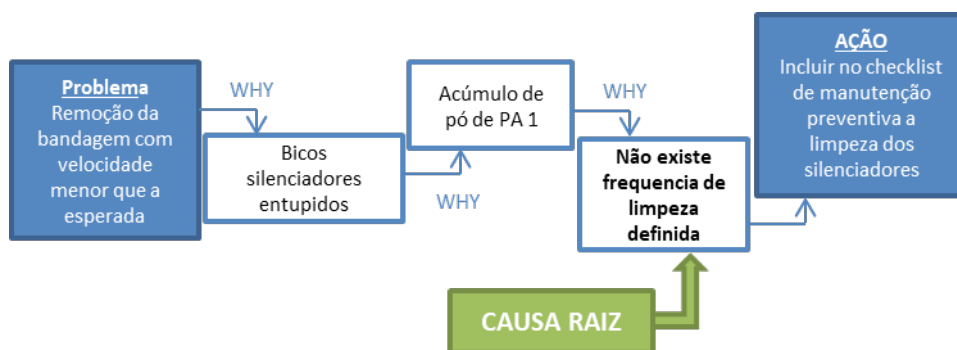


Fonte: elaboração própria.

Como é apresentado na Figura 33, foram necessárias somente duas etapas para chegar à causa raiz do problema na troca dos produtos têxteis (X2). Notem que a ação de solução do problema foi definida imediatamente após os 5 Porquês. Nessa análise a causa raiz é a falta de um documento que defina o modo operatório padrão para realizar a atividade de troca de produto têxtil, e a ação é a criação desse documento. O ganho previsto com a solução desse problema é o aumento de 3% no OEE.

b) Cinco Porquês – X5

FIGURA 34: 5 PORQUES DO X5



Fonte: elaboração própria.

No problema X5, remoção da bandagem demorada, foram necessárias três etapas para chegar à causa raiz (Figura 34). Assim como o anterior, a solução do problema foi definida imediatamente após os 5 Porquês. Nessa análise a causa raiz é a falta de uma frequência de

limpeza dos bicos silenciadores, e a ação é a inclusão no documento de manutenção preventiva a inspeção e limpeza dos bicos. O ganho previsto com a solução desse problema é a redução de 1,5 min no tempo de ciclo da BDG 1.

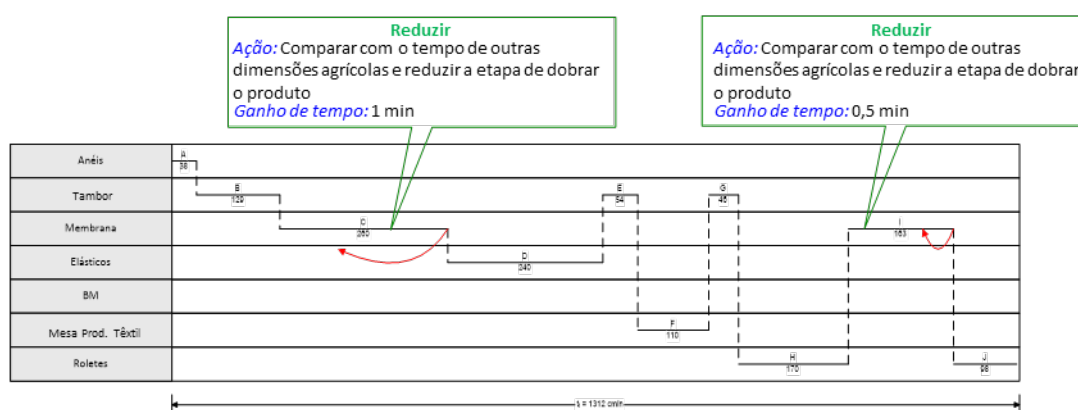
III.4.3.3. Aplicação do Diagrama de Gantt – X3, X6 e X7

O Diagrama de Gantt é muito útil para análise das movimentações das diferentes partes mecânicas durante o ciclo de produção. A equipe utilizou essa ferramenta para analisar três dos sete problemas encontrados.

Para construir o diagrama, a equipe foi à campo e colocou uma câmera para filmar a produção de uma carcaça e de uma bandagem. Com os vídeos e os tempos das etapas do processo em mãos, coletadas na Fase M, a equipe montou os três diagramas. Em seguida, cada diagrama foi analisado, com atenção especial aos tempos de cada etapa, as movimentações que ocorrem em simultâneo e a possibilidade de otimizações de movimento como combinar, reduzir ou eliminar uma etapa ou mais.

a) Diagrama de Gantt Inicial do X3

FIGURA 35: DIAGRAMA DE GANTT INICIAL DO X3



Fonte: elaboração própria.

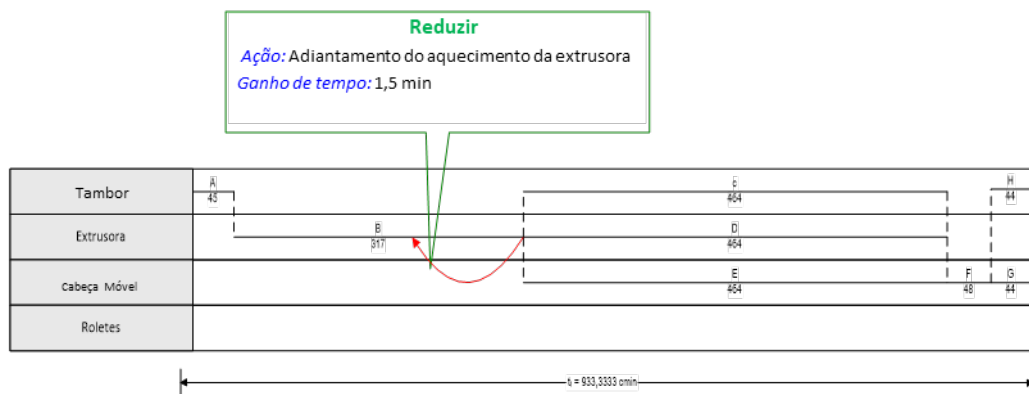
Para solucionar o problema X3 (etapa “dobrar produto” muito longa) a equipe analisou o diagrama acima (Figura 35) e identificou uma oportunidade de redução do tempo de duas etapas “dobrar produto” alterando os parâmetros de velocidade da máquina, que não estavam no máximo permitido.

O ganho esperado na resolução do X3 é a redução de 1,5 min no T/C da CRC 1.

b) Diagrama de Gantt Inicial do X6

O problema X6 foi identificado durante uma observação de oito horas na BDG 1. O operador da máquina espera cerca de 3 min para que a extrusora, que produz a banda de rodagem, aqueça (etapa B do Gantt). Para tornar mais claro este atraso relatado pelo operador e observado pela engenharia, um Diagrama de Gantt inicial foi construído (Figura 36).

FIGURA 36: DIAGRAMA DE GANTT INICIAL DO X6



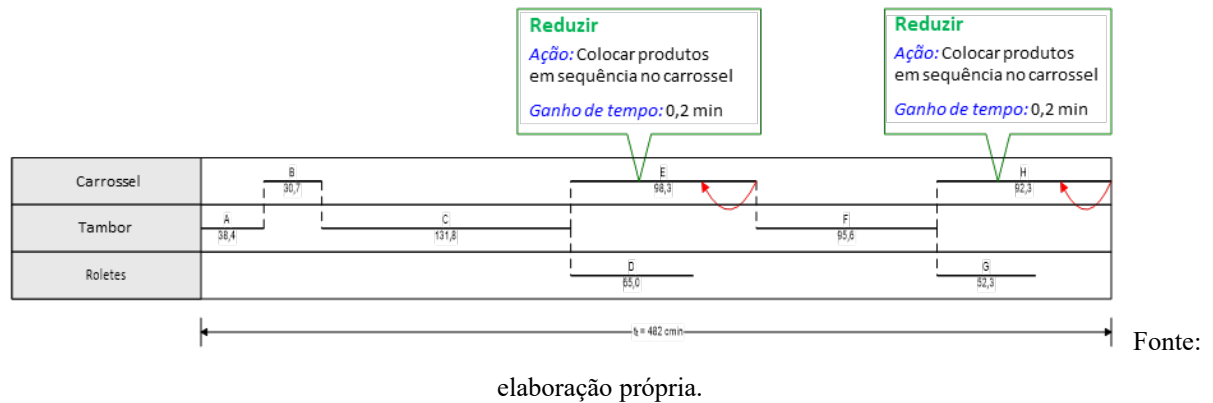
Fonte: elaboração própria.

Após a análise dos parâmetros da dimensão AGRO S pelos técnicos de qualidade e automação, e um brainstorming com a equipe no campo, verificou-se que a causa raiz do atraso é o início do aquecimento da extrusora. A máquina está programada para iniciar o aquecimento na aplicação do quinto produto, impossibilitando que o operador aplique a banda de rodagem sem espera. Os técnicos concluíram que se o aquecimento iniciasse na aplicação do terceiro produto, este aconteceria em paralelo com a aplicação de todos os produtos até o início da etapa de aplicação da banda, evitando a espera por parte do operador. O ganho previsto após a solução do problema é a redução de 1,5 min no T/C da BDG 1.

c) Diagrama de Gantt Inicial X7

O Diagrama de Gantt inicial do problema X7 (Circuito longo do Carrossel) se encontra logo abaixo (Figura 37).

FIGURA 37: DIAGRAMA DE GANTT INICIAL DO X7



É possível notar que o Carrossel começa a se mover (etapa E) ao mesmo tempo que a etapa D se inicia e se estende até depois dela, tornando-se a etapa determinante. Esses elementos de trabalho são repetidos para cada produto aplicado. Dado que são cinco produtos para a dimensão AGRO S, esses elementos são repetidos cinco vezes.

A problema observado no campo teve sua causa raiz determinada após a construção do Gantt. Os dois produtos presentes no carrossel não estão posicionados em sequência nos postos, aumentando o tempo de giro da máquina. Isso faz com que o operador espere mais tempo que o necessário para aplicar o próximo produto. Em resumo, os produtos ocupam as vagas 1 e 3 do Carrossel enquanto a vaga 2 permanece vazia. O ganho associado a resolução desse desperdício é a redução de 1 min no T/C da BDG 1.

O papel dos técnicos de qualidade e automação foi de extrema importância nessa na elaboração dos Diagramas de Gantt. Cada um deles, dentro de seu perímetro de atuação, estudou os parâmetros de receita da dimensão (documento de referência da qualidade para fabricação de uma dimensão), e os parâmetros de máquina. Essa análise permitiu que a equipe criticasse cada etapa e sugerisse otimizações.

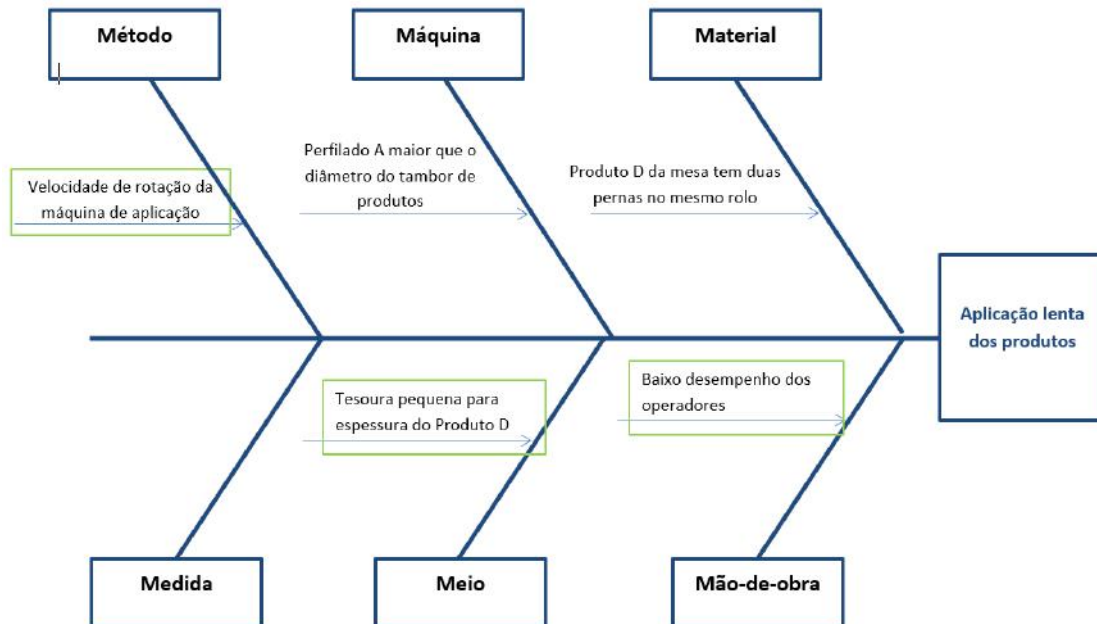
III.4.3.4. Aplicação do Diagrama de Causa e Efeito – X4

O Diagrama de Causa e Efeito foi aplicado ao problema X4 (aplicação dos produtos lenta). Por se tratar de um problema mais complexo que envolve muitos aspectos, a equipe entendeu que essa seria a melhor ferramenta para analisar de forma estruturada o problema.

O time de projeto colocou na extremidade direita o efeito a ser estudado e, eixo a eixo do diagrama, foi discutindo as causas que pudessem estar envolvidas. Como o resultado do diagrama fornece mais de uma causa, a equipe utilizou uma matriz de priorização com os

mesmo pesos e regras da matriz utilizada na Fase M. O diagrama construído se encontra logo abaixo (Figura 38).

FIGURA 38: DIAGRAMA DE ISHIKAWA X4



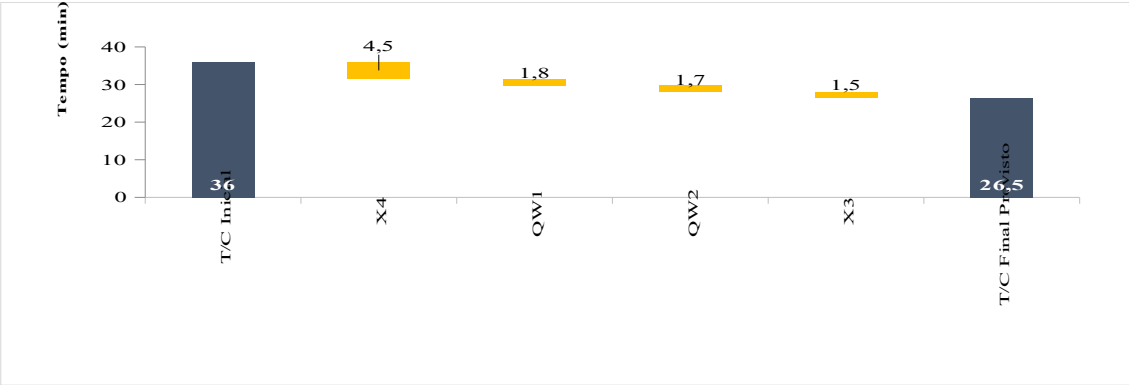
Fonte: elaboração própria.

As causas raízes selecionadas na priorização estão envolvidas de verde no diagrama e são baixa velocidade de rotação da máquina de aplicação, tesoura pequena para espessura do produto D e baixo desempenho dos operadores. Os ganhos relacionados ao tratamento desses problemas são, respectivamente, redução de 4 min no T/C da CRC 1, melhor ergonomia para o operador e aumento de 1% do OEE da CRC 1.

III.4.3.5. Ganhos Previsto da Fase Analisar

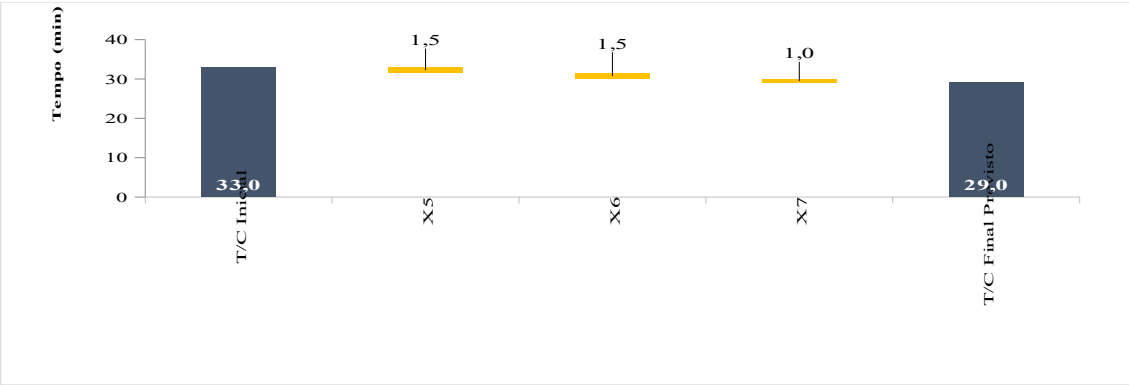
Após todas as análises mencionadas acima, o time foi capaz de identificar as causas raízes e propor ações de progresso. Os ganhos esperados estão consolidados nos gráficos abaixo (Figuras 39, 40, 41 e 42)

FIGURA 39: PREVISÃO DE GANHOS DE T/C DA CRC 1



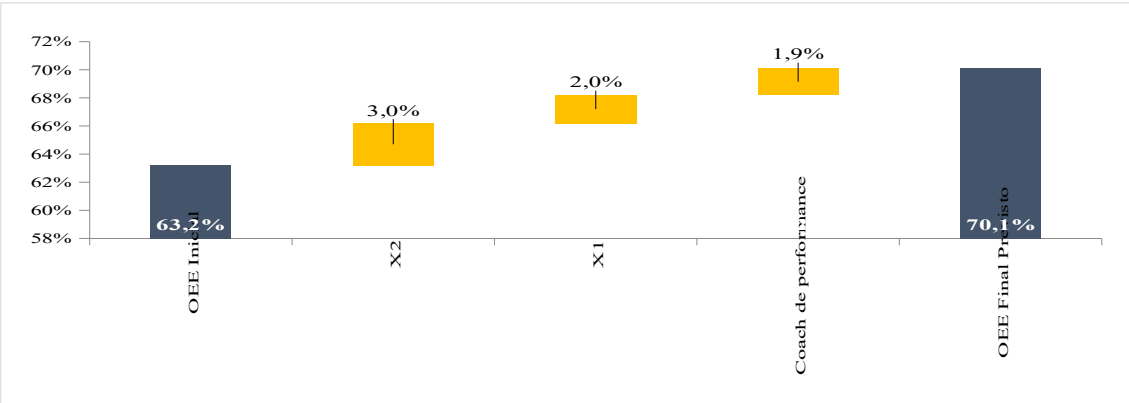
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 40: PREVISÃO DE GANHOS DE T/C DA BDG 1



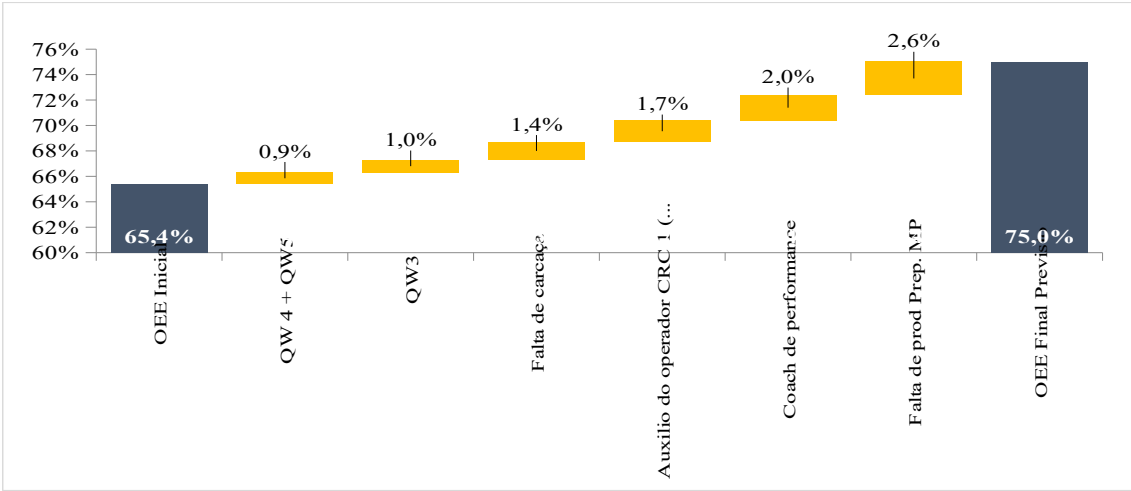
Fonte: elaboração própria.

FIGURA 41: PREVISÃO DE GANHOS DE OEE DA CRC 1



Fonte: elaboração própria.

FIGURA 42: PREVISÃO DE GANHOS DE OEE DA BDG 1



Fonte: elaboração própria.

Ao final da Fase Analisar, os ganhos previstos foram comparados com os objetivos do estudo. Como pode ser visto na Tabela 7, os ganhos tanto de T/C quanto de OEE das duas máquinas atingem a meta. Portanto, o estudo pode avançar para Fase Melhorar.

TABELA 7: COMPARAÇÃO ENTRE GANHO PREVISTO E OBJETIVO

	CRC 1		BDG 1	
	Tempo de Ciclo (min)	OEE	Tempo de Ciclo (min)	OEE
Previsto	26,5	70,1%	29	75%
Objetivo	26,5	70%	30	75%

Fonte: elaboração própria

III.4.4. DESENVOLVIMENTO DA FASE MELHORAR

Nesta etapa foram definidas ações para solucionar os problemas encontrados na etapa de Análise. As reuniões diárias de 30 min do setor agrícola foram utilizadas para engajar as ações e acompanhar o andamento e cada uma delas mais de perto.

A ferramenta 5 Porquês indica de forma imediata a ação que deve ser tomada para resolver o problema. Já para os Diagramas de Gantt, Pareto e Ishikawa, as ações foram definidas em forma de brainstorming pela equipe.

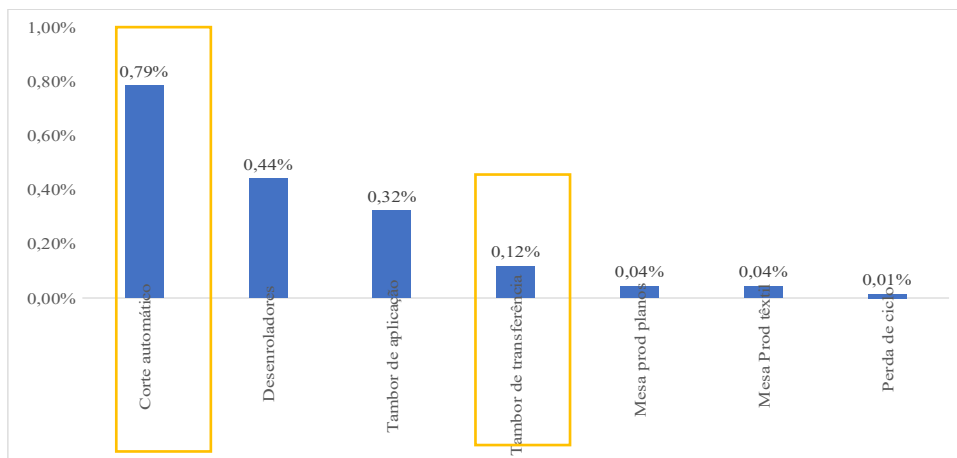
III.4.4.1. Solução para o Problema X1

O tratamento da causa raiz desse foi definido a partir de um brainstorming envolvendo as equipes de Confecção e Preparação de MP. Três ações principais foram retidas:

- i. Passar um informativo aos funcionários que trabalham nas máquinas responsáveis por fabricar o Produto A e o Produto B, a fim de enfatizar a importância de centralizar o produto corretamente na bobina;
- ii. Fazer um acompanhamento mais de perto dos colaboradores do setor de Preparação de MP;
- iii. Formalizar para equipe de manutenção que a dimensão AGRO S tem prioridade em caso de panes e micro falhas.

Podemos observar no gráfico de Pareto (Figura 43) a redução das panes de no corte automático e no tambor de transferência após a realização das ações. O ganho real foi um aumento de 2,9% no OEE da CRC 1.

FIGURA 43: GRÁFICOS DE PANES PÓS MELHORIAS



Fonte: elaboração própria.

III.4.4.2. Solução para o Problema X2

Após a aplicação dos 5Porques foi possível identificar de forma imediata que a falta de modo operatório padrão para a troca de produto têxtil nas dimensões agrícolas impossibilitou o treinamento dos operadores da preparação. As ações tomadas para tratar o problema estão descritas abaixo.

- i. Filmar e construir um modo operatório padrão (MO) para a troca de produtos têxteis tanto para as dimensões agrícolas quanto para as demais.

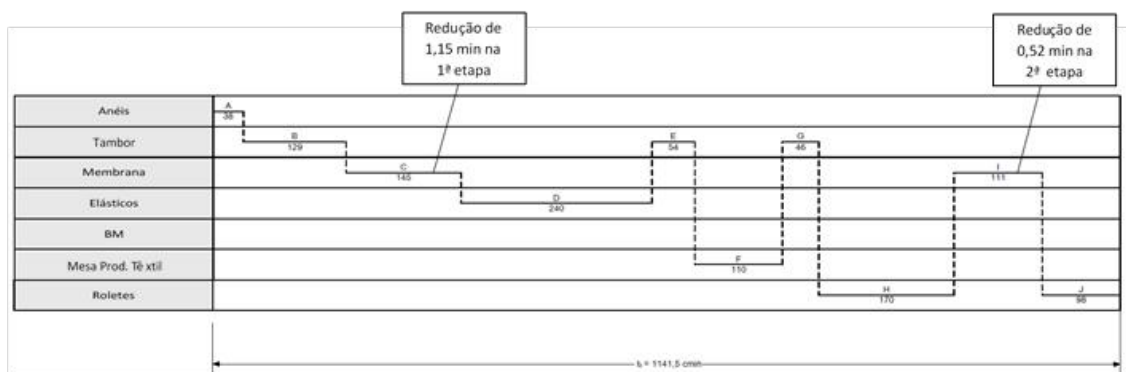
- ii. Validar o novo MO com técnico de qualidade, gerente do atelier, responsável das máquinas, formador e equipe de engenharia.
- iii. Realizar treinamento dos operadores da preparação utilizando o novo MO.

O ganho dessas ações foi um aumento de 10 min/turno no tempo de abertura da CRC 1, que equivale a um aumento de 2,0% no OEE desta máquina.

III.4.4.3. Solução para o Problema X3

Nesta etapa, foram realizadas ações de redução dos tempos tecnológicos da etapa “dobrar produto” alterando os parâmetros de velocidade da CRC 1 para a dimensão em estudo. Abaixo está o Diagrama de Gantt Otimizado (Figura 44).

FIGURA 44: GANTT OTIMIZADO - X3



Fonte: elaboração própria.

É importante mencionar que a qualidade dos pneus fabricados após modificações em parâmetros de máquina ou receita foi monitorada de perto pelos técnicos de qualidade para garantir que nenhum problema de qualidade que possa ter ocorrido no produto final fosse consequência das modificações aplicadas. Os pneus foram rastreados após a vulcanização e a verificação foi feita com mais detalhes. Além disso, a equipe de segurança analisou se a alteração nos parâmetros poderia comprometer a segurança dos colaboradores. Ficou comprovado que não houve deriva nem em qualidade nem em segurança.

Ao realizar as ações acima, o T/C na CRC 1 reduziu 1,7 min.

III.4.4.4. Solução para o Problema X4

O Diagrama de Ishikawa indicou as causas da demora na aplicação dos produtos relatados pelos operadores durante o VSM. As principais ações realizadas para eliminar os problemas encontrados foram:

- 1) Aumentar a velocidade de rotação máquina de aplicação;
- 2) Atualização da formação dos operadores pelo responsável das máquinas;
- 3) Compra de tesouras maiores e mais ergonômicas.

Ganhos realizados em cada ação:

- 1) Redução de 4,8 min no T/C da CRC 1.
- 2) Aumento de 2% no OEE da CRC 1.
- 3) Ganho em ergonomia para os operadores

III.4.4.5. Solução para o Problema X5

Para reduzir o tempo de remoção da bandagem na BDG 1 e resolver o problema de silenciadores entupidos perenemente, as seguintes ações foram tomadas pela equipe:

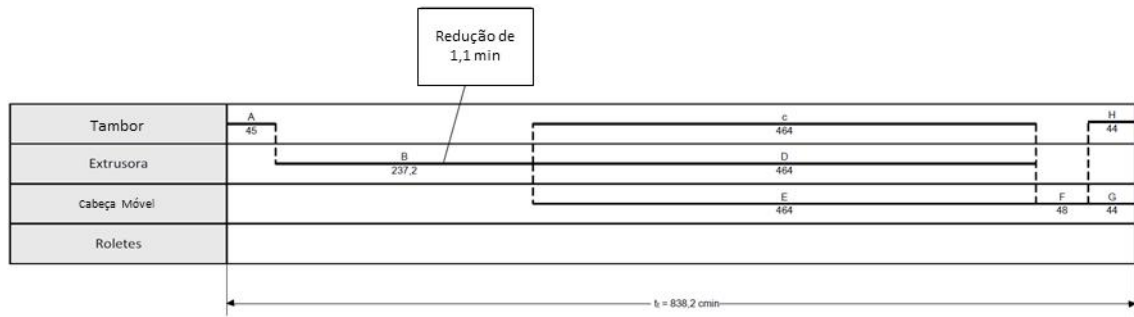
- 1) Desobstruir os silenciadores.
- 2) Inclusão da verificação das condições dos silenciadores na lista de verificação preventiva.

O ganho realizado com essas ações foi a redução de 1,4 min no T/C da BDG 1.

III.4.4.6. Solução para o Problema X6

A causa raiz para o demora no aquecimento da extrusora da banda de rodagem foi resolvida antecipando os parâmetros de início do aquecimento para o momento em que o operador inicia a terceira aplicação de produto (Figura 45). Essa alteração permitiu o aumento da ocupação do operador e a redução do T/C em 1,1min.

FIGURA 45: GANTT OTIMIZADO - X6

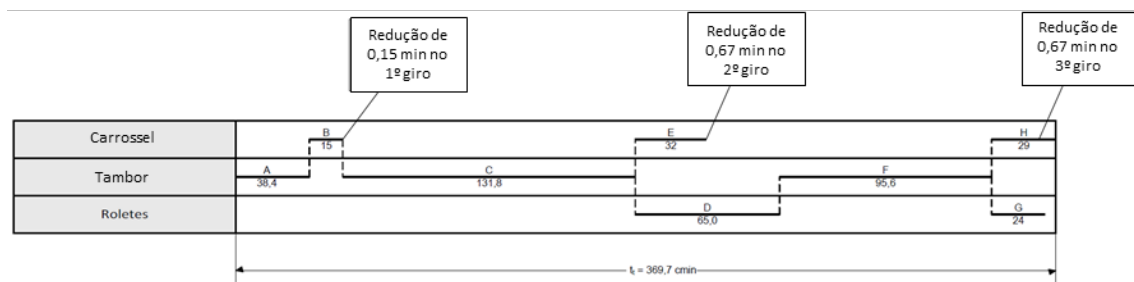


Fonte: elaboração própria.

III.4.4.7. Solução para o Problema X7

Com o objetivo de solucionar o atraso no transporte dos produtos da BDG, levantado como causa raiz após a análise do Diagrama de Gantt, uma ação de mudança do posicionamento dos produtos no carrossel foi realizada e acompanhada pela equipe. Os produtos foram colocados nas vagas 1 e 2, reduzindo o tempo de espera do operador pela máquina (Figura 46).

FIGURA 46: GANTT OTIMIZADO - X7



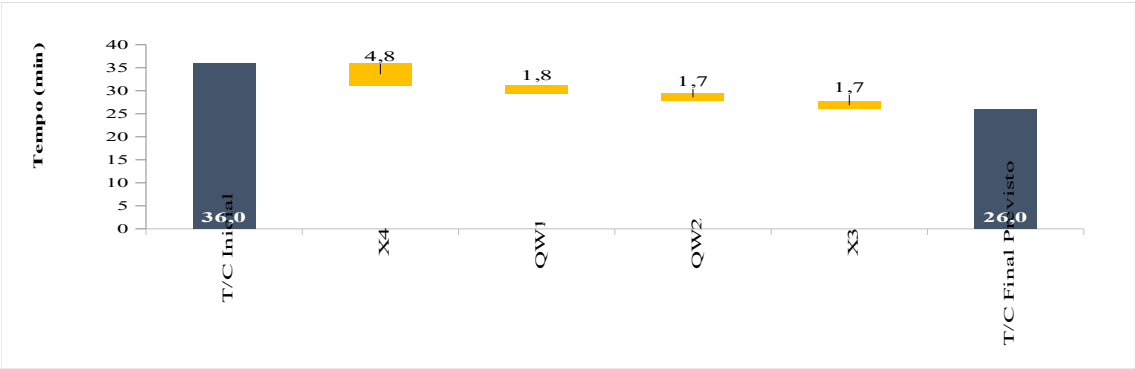
Fonte: elaboração própria.

O ganho realizado foi a redução de 0,9 min no T/C da BDG 1. O ganho foi um pouco menor do que o esperado pois a etapa determinante após as modificações passou a ser a Etapa D, que não passou por nenhuma otimização.

III.4.4.8. Resumo dos Ganhos da Fase Melhorar

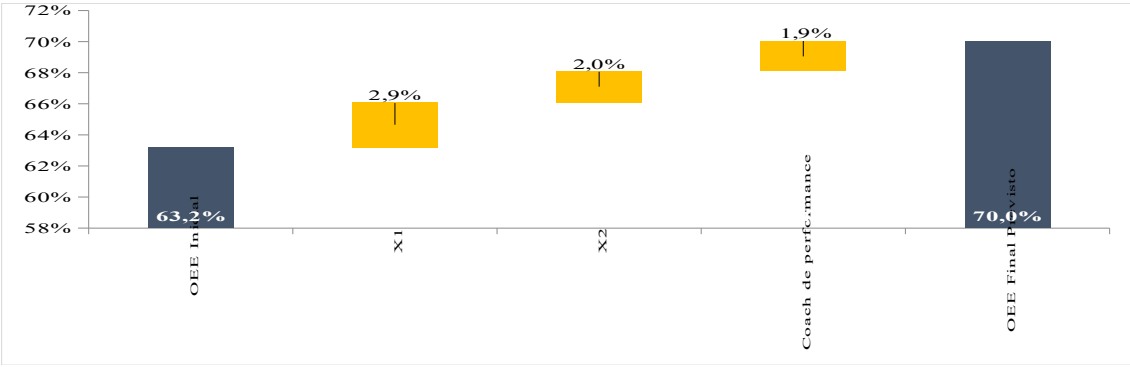
Ao final da Fase I, os ganhos foram consolidados em gráficos de T/C e OEE por máquina (Figuras 47, 48, 49 e 50)

FIGURA 47: GANHOS DE T/C REALIZADOS NA CRC 1



Fonte: elaboração própria.

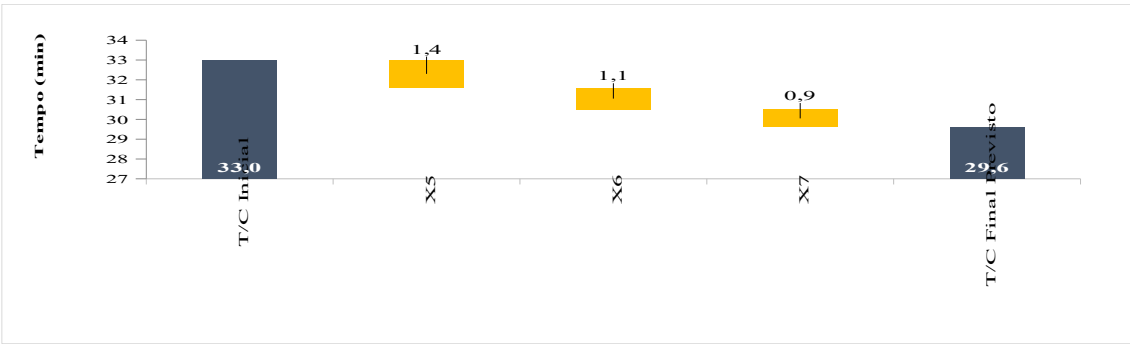
FIGURA 48: GANHOS DE OEE REALIZADOS NA CRC 1



Fonte:

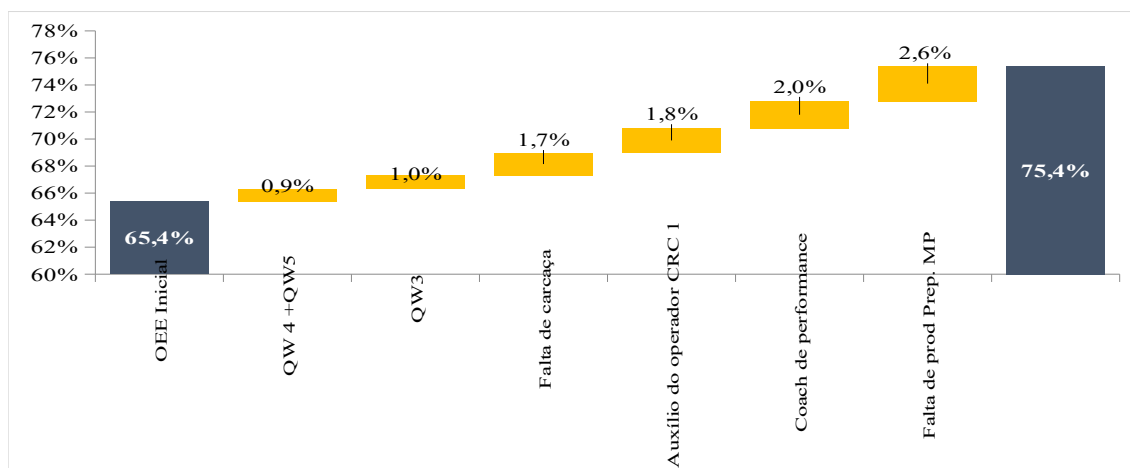
elaboração própria.

FIGURA 49: GANHOS DE T/C REALIZADOS NA BDG 1



Fonte:

elaboração própria.

FIGURA 50: GANHOS DE OEE REALIZADOS NA BDG 1

Fonte: elaboração própria.

Notem que a falta de carcaça foi resolvida com a implementação das soluções para as causas raízes da CRC 1, que permitiu que a capacidade dessa máquina superasse a da BDG 1.

A Tabela 8 confirma que os objetivos do estudo foram atingidos com as otimizações realizadas na Fase I. O próximo passo é perenizar os ganhos utilizando ferramentas de padronização.

TABELA 8: COMPARAÇÃO ENTRE REALIZADO E OBJETIVO DO ESTUDO

	CRC 1		BDG 1	
	Tempo de Ciclo (min)	OEE	Tempo de Ciclo (min)	OEE
Realizado	26,0	70%	29,6	75,4%
Objetivo	26,5	70%	30	75%

Fonte: elaboração própria.

III.4.5. DESENVOLVIMENTO DA FASE DE CONTROLE

O objetivo da última etapa DMAIC é perenizar os resultados alcançados e estabelecer a dinâmica de melhoria contínua. Para isso, a equipe lançou mão de ferramentas de controle como a padronização do novo método de trabalho em documentos denominados Modo Operatório Padrão, a atualização do controle visuais de produção denominado Quadro Hora x Hora, a pilotagem do OEE das máquinas e o acompanhamento pelas equipes de planejamento, de engenharia e de Confecção da produção nas reuniões semanais.

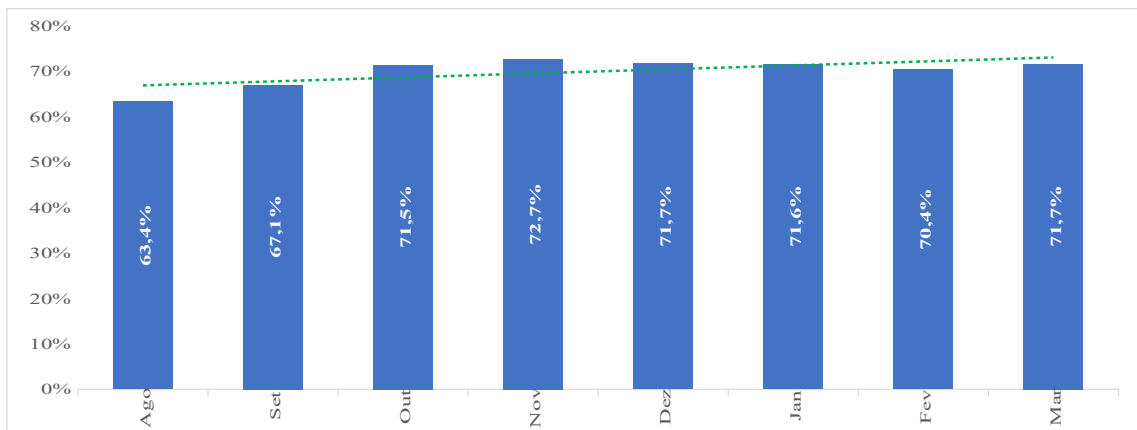
Através da definição das novas normas e da formação de todo o pessoal, a equipe garantiu que as alterações efetuadas não se percam ao longo do tempo. O acompanhamento

dos resultados aliado às análises de causas, permite estimular o progresso e relançar as ações em casos de derivas.

III.4.5.1. Reuniões de Performance

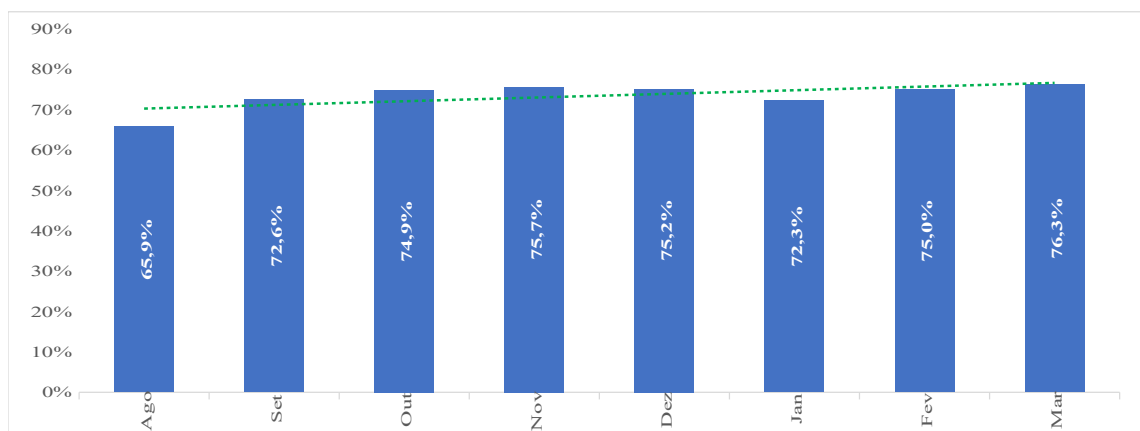
Semanalmente são realizadas reuniões de performance para que o setor possa observar com mais detalhes o desempenho das máquinas (OEE) e lançar estratégias para melhorar os possíveis desvios. Os gráficos apresentados nas Figuras 51 e 52 são acompanhados nessas reuniões. A linha tracejada em verde mostra a tendência de aumento da performance de ambas as máquinas após a realização do estudo.

FIGURA 51: PILOTAGEM DO OEE DA CRC 1 DURANTE E APÓS A CONCLUSÃO DO ESTUDO



Fonte: elaboração própria.

FIGURA 52: PILOTAGEM DO OEE DA BDG 1 DURANTE E APÓS A CONCLUSÃO DO ESTUDO

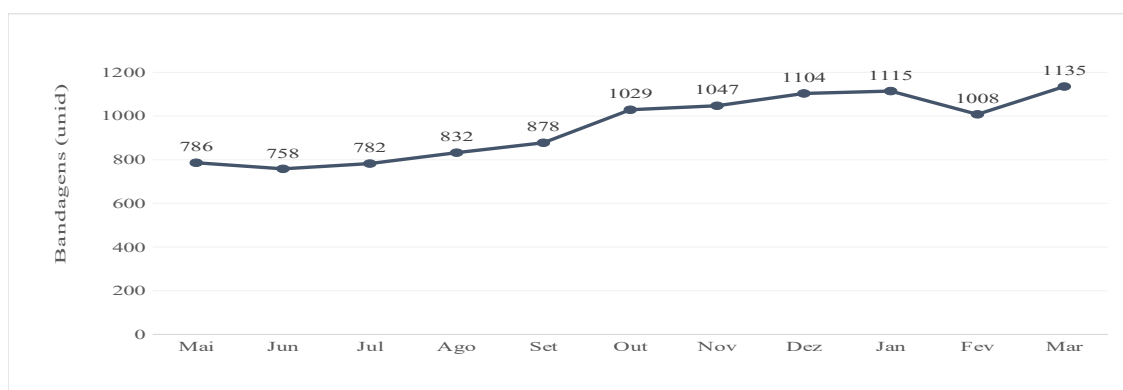


Fonte: elaboração própria

À medida que o Grupo 1 se tornou o foco, sua produção também passou a ser acompanhada mais de perto. O gráfico apresentado na Figura 53 mostra a evolução na fabricação real das bandagens da dimensão antes, durante e após a conclusão do estudo.

Ao final do projeto ficou atestado que a média de produção da dimensão AGRO S subiu de 758 pneus / mês para uma média real de 1090 pneus / mês (de dezembro a março), superando a meta traçada no início do estudo. Os meses outubro e novembro não foram levados em consideração no cálculo da média pois o estudo ainda estava em desenvolvimento nesse período.

FIGURA 53: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO REAL DE BANDAGENS MENSAL



Fonte: elaboração própria

III.4.5.2. Quadro Hora x Hora

O quadro Hora x Hora é o guia para operador da máquina saber se está atingindo o nível de produção desejado para a dimensão que está sendo fabricada. Está representado abaixo o quadro da CRC 1 atualizado com os dados após o estudo (Tabela 9).

TABELA 9: QUADRO HORA X HORA CRC 1

Quadro Hora x Hora - CRC 1			
Dimensão: R46 AGRO S			
Produção / hora sem perdas:		2,3 unid.	
Hora	Previsto	Real	Comentários
7:00 - 8:00	1,6	1,8	Microfalha
8:00 - 9:00	1,6	1,5	Pane
9:00 - 10:00	1,6	2,3	
10:00 - 11:00	1,6		
...			
Prod. turno 1	38,8		

Fonte: elaboração própria.

A produção por hora sem perdas ($OEE = 100\%$) indica quantas peças o operador deve fazer se não ocorrerem derivas durante o processo. A coluna “Previsto” indica a produção que deve ser atingida considerando o OEE objetivo, que na CRC se tornou 70% ao final do estudo. Na coluna “Real” o operador deve escrever qual foi a produção que ele realizou dentro dos horários indicados. Se essa produção real for de 2,3 unidades ou mais, ou seja, sem perdas, ele não deve escrever nada em comentários. Porém, se a produção for menor, mesmo que ele tenha atingido a produção com objetivo 70%, o operador deve indicar a perda que ocorreu no processo.

O quadro foi atualizado com os novos tempos de ciclo e objetivos de OEE para as duas máquinas. Esse quadro auxilia o chefe de produção a controlar a fabricação e performance do operador e da máquina de forma rápida e visual.

III.4.5.3. Atualização do Modo Operatório Padrão

Durante o estudo, foram realizadas ações de modificação de máquina e de aumento do desempenho operacional. Para que essas ações fossem perenes e os ganhos não fossem perdidos, era necessário incluí-los no Modo de Operatório Padrão. Os MO de ambas as máquinas foram atualizados com a participação de todos os membros da equipe. A presença dos operadores nessa reunião foi de grande importância dado que são os maiores utilizadores das máquinas, portanto, especialistas no assunto.

CAPÍTULO IV– CONCLUSÕES

A metodologia *Lean Manufacturing* foi aplicada no setor de Confecção de uma indústria pneumática, mais precisamente no Grupo 1 de máquinas, voltado à produção de uma dimensão do segmento agrícola. Os objetivos, que eram redução do tempo de ciclo da CRC 1 em 26% e da BDG 1 em 9%, e o aumento de 11% no OEE da CRC 1 e de 15% no da BDG 1, foram atingidos ao final do projeto. Portanto, está validada a aplicação prática da metodologia *Lean Manufacturing* aliada a estrutura DMAIC nesse trabalho.

A utilização da ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM) foi fundamental para trazer à tona os desperdícios do processo como super processamento, espera e transporte. A classificação das atividades mapeadas em VA e NVA permitiu a visualização da situação atual como um todo e auxiliou a etapa de priorização dos problemas. A utilização dos Gráficos de Pareto e Matriz de Priorização direcionaram a equipe para a resolução dos problemas que trariam o ganho previsto, com o menor investimento e em menor tempo.

A estrutura DMAIC permitiu maior organização das etapas, melhor direcionamento das ferramentas a serem utilizadas em cada uma delas e melhor eficiência da equipe na resolução dos problemas. O foco nas etapas iniciais do estudo garantido pelo DMAIC permitiu a determinação sólida dos dados do ponto de partida do projeto e análises com profundidade adequada de cada problema levantado.

Os ganhos foram perenizados aplicando ferramentas de controle como Quadro Hora x Hora, atualização do Modo Operatório e formação dos operadores, e o acompanhamento do OEE da máquina gargalo, BDG 1, e da produção do grupo de máquinas estudado.

O sucesso do estudo não teria sido possível se não houvesse engajamento de todas as pessoas envolvidas. Cada um entendeu o seu papel dentro do estudo e contribuiu com ideias de melhorias para que a meta fosse alcançada. A participação dos operadores no estudo foi de suma importância para que os problemas que mais impactavam o processo fossem identificados e eliminados. A equipe como um todo absorveu e disseminou para toda fábrica a filosofia *Lean*, perpetuando a mentalidade enxuta e de melhoria contínua.

IV.1. Próximos Passos

A equipe identificou a oportunidade de replicar as ações implementadas na dimensão AGRO S nas outras dimensões do segmento agrícola, a fim de aumentar a capacidade da

Confecção nesse gama de produtos. Um cronograma está sendo elaborado de acordo com o planejamento de produção para que pelo menos duas dimensões sejam otimizadas em cada mês. Essa iniciativa demonstra o engajamento da equipe de colocar em prática o último princípio *Lean*, a filosofia da melhoria contínua.

A importância da mentalidade enxuta também continuará a ser difundida para todos os setores da fábrica nas reuniões de setor e nos próximos estudos a serem realizados, a fim de incentivar a participação de todos na melhoria diária do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J. Analysing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **International Journal of Production Economics**, 107, 28 Novembro 2006. 223-236.
- AGUWA, C.; OLYA, M. H.; MONPLAISIR, L. Modeling of fuzzy-based voice of customer for business decision analytics. **Knowledge-Based Systems**, Detroit, 125, 27 Março 2017. 136-145.
- AMARAL, Fábio. Gestão Produtiva, 27 julho 2019. Disponível em: <<https://gestaoprodutiva.com.br/diagrama-de-ishikawa-o-que-e-como-fazer/>>. Acesso em: 11 maio 2021.
- AR, R.; AL-ASHRAF, M. Production Flow Analysis through Value Stream Mapping: A Lean Manufacturing Process Case Study. **Procedia Engineering**, Selangor, 41, 25 Agosto 2012. 1724-1734.
- AUTOINDÚSTRIA, R. Auto Indústria, 4 maio 2021. Disponível em: <<https://www.autoindustria.com.br/2021/05/04/venda-de-maquinas-agricolas-mantem-trajetoria-de-alta/>>. Acesso em: 11 maio 2021.
- BESTERFIELD, D. H. et al. **Total Quality Management (For ANNA University)**. 3ª. ed. Nova Delhi: Pearson Education India, 2012.
- BRASIL Agro, 30 março 2020. Disponível em: <<https://www.brasilagro.com.br/conteudo/o-agronegocio-responde-por-211-do-pib-brasileiro.html>>. Acesso em: 11 maio 2021.
- CADDEN, T. et al. The mediating influence of organisational cultural practices in successful lean management implementation. **International Journal of Production Economics**, Newtownabbey, 229, 9 abril 2020. 107744.
- DAMIAN, P. Revista Borracha Atual, 12 fevereiro 2021. Disponível em: <<https://www.borrachaatual.com.br/materia?id=MTA0NQ==>>. Acesso em: 11 maio 2021.
- DOSSOU, P.-E. et al. How to use lean manufacturing for improving a Healthcare logistics performance. **Procedia Manufacturing**, 51, 19 novembro 2020. 1657-1664.
- ELLER, D. Velki, 2021. Disponível em: <<https://velki.com.br/pt/blog/novidades/como-o-sistema-one-piece-flow-pode-agilizar-sua-linha-de-producao->>. Acesso em: 13 maio 2021.
- FELD, K. G.; STONE, W. K. Using Six-Sigma to change and measure improvement. **Performance Improvement**, 41, nº 9, outubro 2020. 20-26.
- FIGUEIREDO, P. Mundo Husqvarna, 21 outubro 2016. Disponível em: <<http://www.mundohusqvarna.com.br/coluna/conhecer-sazonalidade-culturas-para-sucesso-agronegocio/>>. Acesso em: 11 maio 2021.
- GOESTSCH, D. L.; DAVIS, S. **Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality**. 7ª. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2014.
- GRIFFING, A.; HAUSER, J. R. The Voice of Customer. In: **Marketing Science**. Maryland: Institute for Operations Research and the Management Sciences, 1993. p. 1-27.
- HAPPITALITY , 29 janeiro 2019. Disponível em: <<http://happytality.com.br/2019/01/29/value-stream-mapping-vsm/>>. Acesso em: 12 maio 2021.

- HARDCOPF, R.; LIU, G. (.; SHAH, R. Lean Production and operacional performance: The influence of organizational culture. **International Journal of Production Economics**, 235, 9 fevereiro 2021. 108060.
- HEDMAN, R.; SUBRAMANIYAN, M.; ALMSTROM, P. Analysis of critical factors for automatic measurement of OEE. **Procedia CIRP**, Gothenburg, 57, 2016. 128-133.
- JAYANTH, B. V. et al. Implementation of lean manufacturin in eletronics industry. **Materials Today: Proceedings**, 33, 19 fevereiro 2020. 23-28.
- JONES, E. C.; PARAST, M. M.; ADAMS, S. G. A framework for effective Six Sigma implementation. **Total Quality Management & Business Excellence**, Londres, 21, nº 4, 8 abril 2010. 415-424.
- JONH DEERE, 2021. Disponível em: < <https://www.deere.com.br/pt/tratores/>>. Acesso em: 31 abril 2021.
- JORDON, K.; DOSSOU, P.-E.; JUNIOR, J. C. Using lean manufacturing and machine learning for improving medicines procurement and dispatching in a hospital. **Procedia Manufacturing**, 38, 7 fevereiro 2020. 1034-1041.
- KUMAR, S. S.; KUMAR, M. P. Cycle time reduction of a truck body assembly in an automobile industry by lean principles. **Procedia Material Science**, Chennai, 5, 10 Setembro 2014. 1853-1862.
- KUMAR, S.; SOSNOSKI, M. Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Minesota, 58, nº3, 6 março 2009. 254-273.
- LIB. Lean Institute Brasil, 2021. Disponível em: <[https://www.lean.org.br/conceitos/117/sistema-toyota-de-producao-\(toyota-production-system---tps\).aspx](https://www.lean.org.br/conceitos/117/sistema-toyota-de-producao-(toyota-production-system---tps).aspx)>. Acesso em: 4 abril 2021.
- LIKER, J. **The Toyota Way**. Maidenhead: McGraw-Hill Education - Europe, 2004.
- LU, J.-C.; YANG, T. Implementing lean standard work to solv a low work-in-process buffer problem in a highly automated manufacturing environment. **International Journal of Production Research**, 53, nº8, 13 junho 2014. 2285-2305.
- MAHAJAN, M. et al. Implementation of Lean techniques for Sustainable workflow process in Indian motor manufacturing unit. **Procedia Manufacturing**, Manipal, 35, 14 agosto 2019. 1196-1204.
- MARCHESAN, J. Portal do Agronegócio, 16 março 2021. Disponível em: <<https://www.portaldoagronegocio.com.br/gestao-rural/analise-de-mercado/noticias/mercado-agricola-continua-promissor-em-2021>>. Acesso em: 11 maio 2021.
- MELTON, T. The Benefitd of Lean Manufacturing What Lean Thinking has to offer the Process Industries. **Chemical Engineering Research and Desing**, Chester, 83, Junho 2005. 662-673.
- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM**. Portland: Productivity Press Inc., 1988.
- NANDAKUMAR, N.; SALEESHYA, D. P. G.; HARIKUMAR, P. Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Metodology. **Materials Today: Proceeedings**, Coimbatore, 24, 26 Maio 2020. 1217-1224.
- OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. Philadelphia: Taylor & Francis Inc, 1988.
- P2M ALL, 31 outubro 2011. Disponível em: <<https://pm2all.blogspot.com/2011/10/pmbok-ferramentas-e-tecnicas-diagrama.html>>. Acesso em: 30 abril 2021.

- PANDE, P.; NEUMAN, R.; CAVANAGH, R. **The Six Sigma Way**: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance. New York: McGraw-Hill Education - Europe, 2000.
- PECCIN, D. Revista Cultivar. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/artigos/mercado-de-maquinas-aquece-mas-e-preciso-planejamento>>. Acesso em: 11 maio 2021.
- PYZDEK, T. **The Six Sigma Project Planner**. New York: McGraw-Hill Education - Europe, 2003.
- ROHANI, J. M.; ZAHRAEE, S. M. Production Line Analysis via value stream mapping: a lean manufacturing process of color industry. **Procedia Manufacturing**, Johor, 2, 21 outubro 2015. 6-10.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See**: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. Brooklin: Lean Enterprise Institute, US, 1999.
- SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System**: From an Industrial Engineering Viewpoint. Portland: Taylor & Francis Inc, 1989.
- SMETKOWSKA, M.; MRUGALSKA, B. Using Six Sigma DMAIC to improve the quality of the production process: a case study. **Procedia - Social and Behavioral Science**, Poznan, 238, 27 abril 2018. 590-596.
- SOKOVIC, M.; PAVLETIC, D.; PIPAN, K. K. Quality Improvement Methodologies - PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, 43, nº 1, 1 novembro 2010. 476-483.
- SOPHIA, A. Edraw, 8 outubro 2020. Disponível em: <<https://www.edrawsoft.com/pt/sipoc-process-sixsigma.html>>. Acesso em: 13 maio 2021.
- TIMBRO. Agroshow Digital, 17 outubro 2019. Disponível em: <<https://digital.agrishow.com.br/gesto/escolha-certa-do-pneu-de-trator-melhora-o-desempenho-agrcola>>. Acesso em: 11 maio 2021.
- TOYOTA MOTOR COMPANY. SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (TOYOTA PRODUCTION SYSTEM), p. <https://www.toyota.com.br/mundo-toyota/toyota-production-system/>, 2021. Disponível em: <<https://www.toyota.com.br/mundo-toyota/toyota-production-system/>>. Acesso em: 10 abril 2021.
- VENKATARAMAN, K.; B. VIJAYA RAMMATH, V. M. K.; ELANCHEZHIAN, C. Applications of Value Stream Mapping for Reduction of Cycle Time in a Machining Process. **Procedia Materials Science**, Chennai, 6, 9 setembro 2014. 1187-1196.
- WERKEMA, C. **Criando a Cultura Lean Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012.
- WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012.
- WILSON, J. M. Gantt charts: A centenary appreciation. **European Journal of Operational Research**, Glasgow, 149, 2003. 430-437.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking**: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York: SIMON & SCHUSTER, 1996.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **Machine That Changed the World**: The Story of Lean Production. New York: SIMON & SCHUSTER, 1990.
- YAZAN, B. Three Approaches to Case Study Methods in Education: Yin, Merriam e Stake. **The Qualitative Report**, Tuscaloosa, 20, nº2, 23 Fevereiro 2015, 134-152.
- ZAHRAEE, S. M. et al. Lean manufacturing analysis of a Heater industry based on value stream mapping and computer simulation. **Procedia Manufacturing**, 51, 19 novembro 2020. 1379-1385.